Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

INFORMATION REPORT INFORMATION REPORT

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY

This material contains information affecting the National Defense of the United States within the meaning of the Espionage Laws, Title 18, U.S.C. Secs. 793 and 794, the transmission or revelation of which in any manner to an unauthorized person is prohibited by law.

PROCESSING COPY

C-O-N-F-I-D-E-N-T-I-A-L [redacted] 25X1

COUNTRY	Bulgaria	REPORT	[redacted]
SUBJECT	Military Textbooks	DATE DISTR.	4 June 1957
	[redacted]	NO. PAGES	1
		REQUIREMENT NO.	[redacted]
DATE OF INFO.		REFERENCES	25X1
PLACE & DATE ACQ.			

[redacted]

Attached are the following Bulgarian military textbooks:

a. <u>Theory of Jet Propulsion</u> (Teoriya Na Reaktivnite Dvigateli), published by the Military Press of the Ministry of National Defense and issued in 1957;

b. <u>Atomic Weapons and Atomic Defense</u> (Atomno Oruzhie I Protivoatomna Zashtita), published by the Military Press of the Ministry of National Defense and issued in 1956.

When detached from this report, attachments are UNCLASSIFIED.

[redacted]

25X1

C-O-N-F-I-D-E-N-T-I-A-L

[redacted] 25X1

(Field distribution by "#".)

AEC	X				

INFORMATION REPORT

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6 STAT

П. К. КАЗАНДЖАН, Л. П. АЛЕКСЕЕВ, А. Н. ГОВОРОВ,
Н. Е. КОНОВАЛОВ, Ю. Н. НЕЧАЕВ, В. Ф. ПАВЛЕНКО,
Р. М. ФЕДОРОВ

ТЕОРИЯ НА РЕАКТИВНИТЕ ДВИГАТЕЛИ

ДЪРЖАВНО ВОЕННО ИЗДАТЕЛСТВО ПРИ МНО

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

П. К. КАЗАНДЖАН, Л. П. АЛЕКСЕЕВ, А. Н. ГОВОРОВ,
Н. Е. КОНОВАЛОВ, Ю. Н. НЕЧАЕВ, В. Ф. ПАВЛЕНКО,
Р. М. ФЕДОРОВ

ТЕОРИЯ НА РЕАКТИВНИТЕ ДВИГАТЕЛИ

1957
ДЪРЖАВНО ВОЕННО ИЗДАТЕЛСТВО ПРИ МНО

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ПРЕДГОВОР

Настоящата книга е написана от авторски колектив под ръководството на академик Б. С. Стечкин. В нея се излагат основните въпроси по теорията на авиационните лопатъчни машини и реактивните двигатели — теорията на работния процес, стендовите и летателните характеристики и особеностите в работата на лопатъчните машини и реактивните двигатели при експлоатацията им.

Книгата е предназначена за летателния и инженерно-техническия състав на ВВС, който изучава самостоятелно теорията на лопатъчните машини и реактивните двигатели. Изхождайки от това, авторите са се стремили да направят книгата колкото се може по-достъпна, като основно внимание са обърнали на описанието на физическите процеси, които стават в двигателите в различните условия на тяхната експлоатация.

Общото научно редактиране на книгата е извършено от професор доктор по техническите науки инженер-полковник **П. К. Казанджан**.

Авторският колектив

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ОСНОВНИ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$L_{п.с}$ — действителна (политропична) работа за сгъстяване на въздуха в двигателя.

$L_{л.р}$ — действителна (политропична) работа при разширение на газа в двигателя.

$L_{л.т}$ — действителна (политропична) работа при разширение в турбината.

$L_{п.к}$ — действителна (политропична) работа за сгъстяване в компресора; работа, изразходвана при сгъстяването на 1 *кг* въздух в компресора.

$L_{п.ст}$ — действителна (политропична) работа за сгъстяване в степените на компресора.

$L_{е.к}$ — механична работа, изразходвана за въртене колелото на компресора; ефективна работа за сгъстяване на 1 *кг* въздух.

$L_{ад.к}$ — адиабатична работа за сгъстяване на въздуха в компресора.

$L_{е.ст}$ — ефективна работа, изразходвана за въртене на една степен на компресора.

$L_{х}$ — работа, изразходвана за преодоляване хидравличните съпротивления.

$L_{х.к}$ — работа, изразходвана за преодоляване хидравличните съпротивления в компресора.

$N_{дв.}$ — мощност на двигателя.

$N_{к}$ — мощност, необходима за въртене на компресора.

$N_{ст}$ — мощност, необходима за въртене на една степен на компресора.

$\eta_{ад.к}$ — адиабатичен к. п. д. на компресора.

$\eta_{ад.ст}$ — адиабатичен к. п. д. на една степен на компресора.

$\eta_{е.к}$ — ефективен к. п. д. на компресора.

$\eta_{с}$ — к. п. д. на процеса сгъстяване на въздуха.

$\eta_{р}$ — к. п. д. на процеса разширение на въздуха.

η_{P} — теглителен к. п. д. на ТуРД.

η_{t} — термичен к. п. д. на ТуРД.

$\eta_{п}$ — пълен к. п. д. на ТуРД.

ε — степен на свиване на въздуха в двигателя.

$\varepsilon_{к}$ — степен на свиване на въздуха в компресора.

$\varepsilon_{т}$ — степен на разширение на газа в турбината.

P — теглителна сила на реактивния двигател.

$P_{отн}$ — относителна теглителна сила.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

$G_{отн}$ — относителен разход на горивото.
n — обороти на двигателя.
$n_{пр}$ — приведени обороти на двигателя.
G — секунден теглов разход на въздуха през двигателя или компресора.
g — земно ускорение.
p — налягане на въздуха или газа в двигателя.
p_0 — атмосферно налягане на въздуха.
c_p — специфична топлина на газа или средна специфична топлина на изгорелите газове при постоянно налягане.
Q — подведена топлина в двигателя.
ΔT — нарастване на температурата на въздуха.
σ — коефициент на отделянето на топлина, който характеризира пълнотата на изгарянето на горивото, обикновено равен на 0,96—0,97.
$\frac{1}{A} = 427$ *кгм/кал* — механичен еквивалент на топлината.
R — газова постоянна.
k — адиабатичен показател.
n — политропичен показател.
H_u — топлотворна способност на горивото в *кал/кг*.
ϑ_0 — скорост на полета.
c — абсолютна скорост на въздуха.
u — окръжна скорост.
μ — коефициент на завъртването на въздуха.
w — относителна скорост на въздуха.
i — ъгъл, под който въздухът постъпва към лопатките на компресора.
ε^0 — ъгъл на завъртване на въздушния поток.
v — относителен обем на въздуха.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Доцент, кандидат по техническите науки
инженер-майор Ю. Н. НЕЧАЕВ

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА РЕАКТИВНИТЕ ДВИГАТЕЛИ

Развитието на скоростната авиация доведе до заменяване на буталните авиодвигатели, имащи сравнително ограничени мощности, с реактивните двигатели, които развиват при по-малки размери и тегло значително по-големи мощности.

Както е известно, потребната мощност за придвижване на самолета във въздуха с увеличението скоростта на полета значително се увеличава. Мощността пък на силовата установка с бутален двигател практически не зависи от скоростта на полета. Ето защо за достигане на по-големи скорости на полета на самолети с бутални двигатели би било необходимо да се повишава тяхната мощност, а това от своя страна би довело до недопустимо голямо увеличение на теглото и размерите им.

В противоположност на буталните двигатели в реактивните двигатели мощността значително нараства с увеличение скоростта на полета. Обаче с увеличение височината на полета мощността на реактивните двигатели (при постоянна скорост на полета) се намалява. Намаляването мощността на реактивните двигатели с увеличение на височината се компенсира донякъде от увеличението на мощността им при нарастването на скоростта на полета, поради което реактивните двигатели и по височинност значително превъзхождат буталните. С това се обуславя преимуществото на реактивните двигатели за скоростните и височинните самолети.

Неоспоримо е доказано, че Съветският съюз е родина на реактивната авиация, че на руските и съветските учени принадлежи първенството в създаването на теорията за реактивното движение и в изработването на първите конструкции реактивни двигатели и самолети.

Реактивен може да бъде наречен всеки топлинен двигател с вътрешно горене, в който химическата енергия на горивото се преобразува в кинетична енергия на газовата струя, изтичаща от двигателя, а получаващата се вследствие на това сила на реакцията непосредствено се използува като движеща сила.

Реактивните двигатели се делят на два типа: ракетни и въздушно-реактивни.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

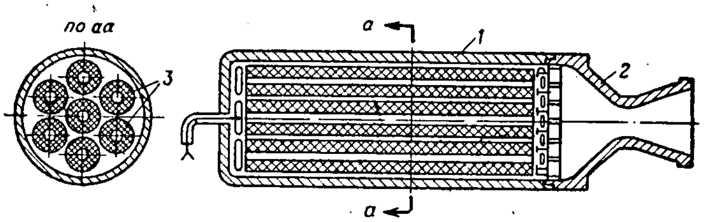
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Основното различие между тях се състои в това, че работното тяло (газовата струя) в ракетните двигатели се образува от вещества, които се носят от самите летателни апарати. Във въздушно-реактивните двигатели за работно тяло служи въздухът на обкръжаващата атмосфера, кислородът на който се използува като окислител при изгарянето на горивото.

Ракетни двигатели

Първи тип реактивни двигатели са били барутните ракети (ракетни двигатели с твърдо гориво). Те са се появили значително по-рано от другите топлинни двигатели. Ведущата роля в развитието и употребата на барутните ракети принадлежи на Русия.

Един от най-видните специалисти в областта на ракетостроенето е бил руският учен генерал К. И. Константинов (1818—1872). Ракетите на Константинов с успех са били използувани от руските войски в балканската война 1877—1878 год. (Освободителната война — б. р.)



Фиг. 1. Барутен ракетен двигател:
1 — цилиндрическа горивна камера; *2* — реактивно сопло; *3* — барутни шашки

Барутният ракетен двигател (БРД) се състои от цилиндрическа горивна камера *1* (фиг. 1) и реактивно сопло *2*. В горивната камера се поставя барутът, който е направен във вид на отделни шашки *3*. При горенето на барута в горивната камера се образуват барутни газове, които имат голямо налягане (до 250 *кг/см*²) и висока температура (до 2000°C). Тези газове, изтичащи с голяма скорост през соплото в атмосферата, създават теглителна сила (тяга), която е насочена противоположно на движението на газовете. Продължителността на работата на такъв двигател се определя от времето на изгарянето на барута и не превишава няколко секунди.

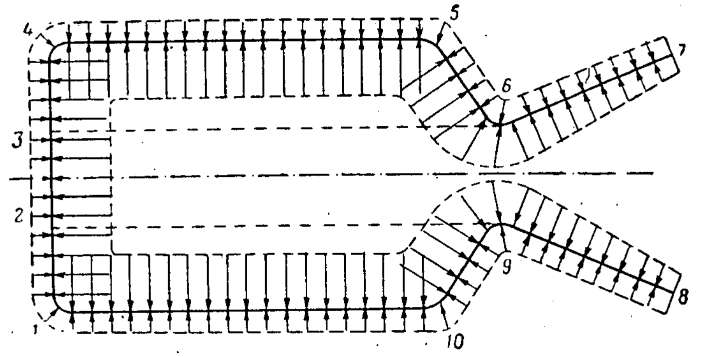
Разглеждайки ракетния двигател, да изясним принципа на възникването на реактивната теглителна сила. Да разгледаме силите на налягането, които действуват върху неговата външна и вътрешна повърхност (фиг. 2).

На всеки елемент от повърхността на двигателя отвън действува атмосферното налягане, а отвътре — превишаващото го налягане на изгорелите газове. Това довежда до образуването на всеки участък от повърхността на двигателя на сила, насочена навън.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Върху околната цилиндрическа повърхност на горивната камера тези сили взаимно се уравновесяват. Силите обаче, действуващи върху дъната на горивната камера, *1—2—3—4* и *5—6—9—10* (гледай фиг. 2) се оказват неуравновесени, тъй като силите на участъка *2—3* нямат противоположно насочени сили от страна на откриття край на горивната камера. Неуравновесени са също така и силите, действуващи на разширяващия се участък на реактивното сопло, *6—7* и *8—9*. Сборът на тези неуравновесени сили образува равнодействуваща, която е теглителна сила, или реактивна сила. Тя, както се вижда от фиг. 2, е насочена в посока, противоположна на изтичащата от двигателя газова струя.



Фиг. 2. **Схема на възникването на реактивната теглителна сила**

Определянето на теглителната сила чрез непосредственото сумиране на елементарните сили на налягането, които действуват върху работната повърхност на двигателя, е доста сложно. Ето защо за нейното определяне се използува известният от механиката закон, съгласно който импулсът на силата е равен на изменението на количеството движение.

Ако определим импулса, създаден от теглителната сила P, за време 1 сек., то

$$P = m\,w,$$

където $m = \frac{G}{g}$ е масата на секундния разход на продукта на горенето, w — скоростта на изтичането на газовата струя.

Малката продължителност на горене на барута в ракетните двигатели и сравнително ниската му топлотворна способност са главна причина да не се използуват барутните ракетни двигатели като основни авиационни двигатели. Сега барутните ракетни двигатели се използуват в авиацията само като стартови ускорители, предназначени за съкращаване разбега на самолета при излитането му.

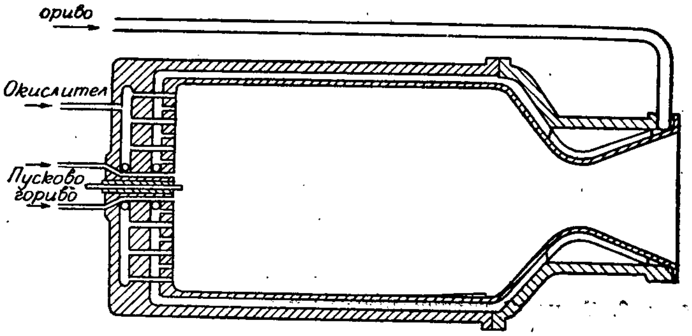
С цел да се отстранят указаните недостатъци на ракетния двигател К. Е. Циолковски (1857—1935) в труда си „Изследване на

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

небесното пространство с реактивни прибори" (1903) е предложил да се замени в ракетните двигатели барутът с течно гориво. Употребата в ракетните двигатели на течно гориво, което има голяма топлотворна способност, значително е подобрило основните показатели на ракетния двигател.

Течните ракетни двигатели (ТеРД) работят по същия принцип, както и барутните. Разликата се състои само в това, че в горивната камера на ТеРД изгаря смес от течно гориво и течен окислител, които непрекъснато се подават вътре в горивната камера посредством специални форсунки (фиг. 3). Благодарение на това времето за работа на ТеРД не е така ограничено, както при барутните ракетни двигатели, и се определя от общия запас на гориво и окислител на летателния апарат (вън от двигателя).



Фиг. 3. Схема на течен ракетен двигател

За гориво в ТеРД се употребява обикновено керосин или спирт, а за окислител — азотна киселина, течен кислород, водороден двуокис (H_2O_2) и др.

Форсунките, подаващи гориво и окислител вътре в горивната камера, осигуряват доброто пулверизиране и размесване на течните компоненти, образуващи горивната смес. При пускането горивната смес се възпламенява от специално запално устройство (ако течните компоненти не образуват самозапалваща се смес). Впоследствие горенето се поддържа вследствие непрекъснатото подаване на гориво и окислител. Течните компоненти се подават от резервоарите в двигателя посредством сгъстен въздух или специални помпи.

В горивната камера на ТеРД температурата на газовете може да достигне 3000°C, а налягането — 30 ÷ 50 *кг/см*² и повече. Вследствие на високите температури на горене и по-продължителното време на непрекъсната работа на ТеРД (в сравнение с барутните ракетни двигатели) необходимо е горивната камера и соплото да се охлаждат, което се осъществява с единия, а понякога с двата течни компонента.

К. Е. Циолковски е разработил ред оригинални конструкции ракети, работещи с течно гориво. Той пръв е предложил да се

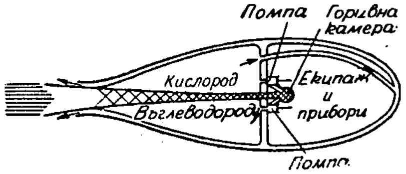
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

използува за ТеРД разширяващо се сопло, да се охлаждат стените на горивната камера и соплото с течните компоненти, да се подават те в горивната камера със специални помпи и накрая — за управление на ракетите на големи височини да се използуват кормила, работещи в газовия поток. Схема на една от ракетите, разработена от К. Е. Циолковски, е показана на фиг. 4.

К. Е. Циолковски е разработил основните въпроси по теорията на течния ракетен двигател и със своите многобройни трудове е положил началото на научните изследвания в областта на реактивната авиация.

В условията на царското самодържавие, когато по думите на К. Е. Циолковски се признавало само „онова, което е шумяло зад граница“, работата на бележития руски учен не е получила необходимото признание и поддръжка. Само в годините на съветската власт на учения са били създадени всички условия за плодотворна научноизследователска дейност. Затова той е писал така:



Фиг. 4. Схема на ракетата на К. Е. Циолковски

„До революцията моята мечта не можа да се осъществи. Само Октомври донесе признаване труда на самоуките; само съветската власт и Комунистическата партия ми оказаха действена помощ. Аз почувствувах любовта на народните маси и това ми даде сили да продължа работата . . . Всичките си трудове по авиацията, ракетоплаването и междупланетните съобщения предавам на Болшевишката партия и съветската власт — истинските ръководители на прогреса и човешката култура.“

Съветският инженер Ф. А. Цандер, развивайки идеите на К. Е. Циолковски, в 1930—1931 год. е построил и изпитал първите в СССР ракетни двигатели с течно гориво. В своя труд „Топлинен разчет на ракетния двигател с течно гориво“ той е описал методите за топлинния разчет на течния ракетен двигател и разчета на охлаждане на горивната камера и соплото.

В 1937 год. съветският конструктор М. К. Тихонравов пръв е провел успешни опити по използуването на компонентите на горивната смес за вътрешно охлаждане стените на ТеРД.

Сега в областта на ракетостроенето са достигнати големи успехи. Идеите на К. Е. Циолковски са получили своето по-нататъшно развитие в оригиналните конструкции на ТеРД, създадени от много съветски конструктори — В. П. Глушко, А. М. Исаев, М. К. Тихонравов, Л. С. Душкин и др.

В съвременната авиация ТеРД още не са намерили широко приложение. Те, както и правопоточните реактивни двигатели (ПРД), се използуват като стартови устройства за съкращаване разбега на самолета при излитане и като ускорители, предназначени за кратковременно увеличение скороподемността или скоростта на по-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

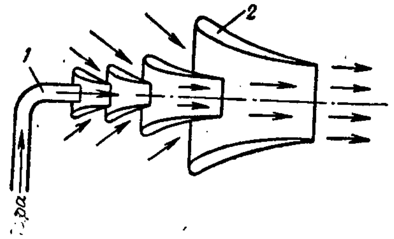
лета на самолета при въздушен бой. Сравнително малкото използуване на ТеРД се обяснява с това, че те имат извънредно голям разход на горивна смес (главно поради големия разход на окислител). Освен това употребата на ТеРД е свързана с големи експлоатационни неудобства, тъй като още не са намерени такива течни горива и окислители, които биха били напълно безопасни и удобни при използуването им.

Преимуществото на ТеРД се състои в това, че при съвършено малки размери и тегло той може да развива големи мощности. Това дава възможност ТеРД да се използува в изтребителите-прехващачи, действуващи ограничено време, но изискващи големи хоризонтални и вертикални скорости на полета, а така също и в ракетите за далечно действие.

Икономичността и мощността на ТеРД с увеличение скоростта на полета значително нарастват, поради което може да се предполага, че ТеРД ще намерят по-голямо приложение, когато скоростта на полета на самолета значително ще превишава скоростта на звука.

Въздушно-реактивни двигатели

Вторият тип реактивни двигатели са, както вече беше казано, въздушно-реактивните двигатели (ВРД), при които като работно тяло се използува атмосферният въздух. В Русия още в половината на миналия век са се появили първите патенти на въздушно-реактивните двигатели. В 1849 г. военният инженер И. И. Третески е публикувал своя труд „За способите за управление на аеростата“, в който е предложил за придвижване аеростата във въздуха и за управлението му в полета да се използува силата на реакцията на газовете, изтичащи от обвивката на аеростата през специално сопло.



Фиг. 5. Система инжекторни насадъци на Ф. Гешвенд

В 1866 г. капитан първи ранг Н. М. Соковнин е разработил проект на голям управляем аеростат с твърда конструкция. В този проект той е предложил много нови идеи, от които особен интерес представлява идеята за използуване придвижването на аеростата с реактивен двигател, създаващ теглителна сила от реакцията на изтичащата струя въздух, предварително сгъстен до налягане 50 *кг/см²*.

В 1887 г. руският инженер Ф. Гешвенд е предложил оригинален проект на реактивен двигател за самолет. Авторът на проекта е предлагал за източник на теглителна сила да се използува силата на реакцията на парата, образуваща се в котел и изтичаща с голяма скорост от реактивното сопло. Най-интересна особеност на този проект е било предложението да се използува за увеличение тегли-

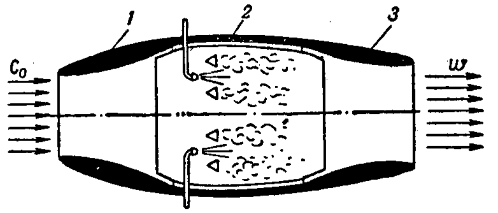
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

телната сила на двигателя система от инжекторни насадъци (фиг. 5). Подобно предложение е било повторено след 33 години от френския инженер Мело, когото на Запад и досега незаслужено смятат за негов автор.

Оригиналността и смелостта на първите проекти на реактивни двигатели свидетелстват за настойчивата работа на авангарда на руските учени, стремящи се още в средата на миналия век да разрешат проблемата за реактивния полет.

Във ВРД въздухът преди постъпването в горивната камера може да се сгъстява от скоростния напор или от скоростния напор и компресор. В първия случай ВРД се наричат безкомпресорни. Те от своя страна в зависимост от способа на подвеждане топлина се подразделят на правопоточни ВРД (с подвеждане на топлина при постоянно налягане) и пулсиращи ВРД (с подвеждане на топлина при постоянен обем).



Фиг. 6. **Схема на правопоточен ВРД за дозвукови скорости на полета:**
1 — входен дифузор; *2* — горивна камера; *3* — реактивно сопло

Правопоточният ВРД е най-простият въздушно-реактивен двигател. Неговият работен процес и основните му показатели в значителна степен зависят от скоростта на полета. От това се обуславя разликата в устройството на правопоточните ВРД, предназначени за полет с дозвукови и свръхзвукови скорости.

На фиг. 6 е изобразена схема на правопоточен ВРД за дозвукови скорости на полета. Той се състои от входен дифузор *1*, горивна камера *2* и реактивно сопло *3*.

Принципът на работа на правопоточния ВРД се заключава в това, че при полета на самолета с голяма скорост насрещният въздушен поток, постъпващ в двигателя, се задържа, преди да влезе в дифузора и в самия дифузор, в резултат на което се намалява скоростта на въздуха и се повишава неговото налягане.

При дозвуковите скорости на полета задържането на въздушната струя се съпровожда, както е известно, с увеличение площта на нейното напречно сечение, поради което дифузорът в такъв случай се прави във вид на разширяващ се канал.

Въздухът, сгъстен пред двигателя и в дифузора за сметка на скоростния напор, постъпва в горивната камера, в която с помощта на ред форсунки се впръсква горивото. Горивно-въздушната смес при пускането се възпламенява с помощта на специално запално устройство, а впоследствие горенето се поддържа за сметка на съприкосновението на сместа с горящите газове.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

В горивната камера се поставят завихрители, създаващи устойчиви огнища на горенето. Температурата на газа на изхода от горивната камера може да достигне 2000°С и повече.

В правопоточните ВРД налягането през време на горенето почти не се изменя, затова те се отнасят към типа двигатели с подвеждане топлина при постоянно налягане. В действителност налягането в горивната камера с цилиндрическа форма малко се намалява поради увеличението скоростта на газа вследствие неговото нагряване, а също така и в резултат на хидравличните съпротивления.

Продуктите на горенето от камерата попадат в реактивното сопло, където става разширението им, съпровождащо се с увеличение на скоростта. В резултат на това скоростта на изтичането се оказва по-голяма, отколкото скоростта на полета.

При дозвуковите скорости на полета, когато скоростта на изтичането не превишава скоростта на звука, реактивното сопло се прави стесняващо, тъй като в този случай, както е известно, ускорението на газовия поток трябва да се съпътствува от намаляване площта на струята.

Теглителната сила, създадена от правопоточния двигател, се определя от разликата в количеството движения на изтичащите от двигателя газообразни продукти на горенето и влизащия въздух. Ако пренебрегнем теглото на горивото, което обикновено е малко в сравнение с теглото на преминалия през двигателя въздух, теглителната сила, развивана от правопоточния ВРД, може да се определи по следната формула:

$$P = m_{\text{в}} (w - c_0) = \frac{G}{g} (w - c_0),$$

където $m_{\text{в}}$ е масата на секундния разход на въздуха.

Отношението на налягането на въздуха в края на процеса на сгъстяване (компресия) в двигателя към налягането на въздуха в окръжаващата атмосфера се нарича степен на сгъстяване на въздуха във ВРД. При достигнатите засега в авиацията скорости на полета степента на сгъстяването на въздуха за сметка на използуването на скоростния напор е незначителна, поради което правопоточният ВРД има нисък к. п. д. и не осигурява достатъчна теглителна сила. В частност при скорост на полета, равна на нула, правопоточният ВРД не може да създава теглителна сила, поради което разбегът на самолета и неговото самостоятелно излитане при помощта само на правопоточния ВРД са невъзможни.

Обаче увеличението на скоростта на полета води към увеличение степента на сгъстяване на въздуха в двигателя и към подобряване характеристиките на правопоточния ВРД. Затова при големи свръхзвукови скорости на полета неговото използуване може да се окаже целесъобразно и даже по-изгодно от използуването на другите типове въздушно-реактивни двигатели.

Когато скоростта на полета на правопоточния ВРД от най-прост тип (гледай фиг. 6) превишава скоростта на звука, пред входа на

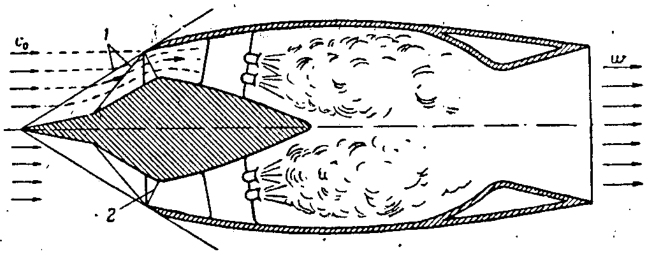
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

двигателя възниква прав скок на уплътнение. Както показва опитът, при правия скок на уплътнение произлиза почти мигновено намаляване на скоростта и увеличаване на налягането на въздуха. Такова „ударно" свиване на въздуха се съпровожда с големи загуби, които значително влошават процеса на свиването.

Изследванията на съветските учени Г. И. Петров и Е. П. Ухов показаха, че за намаляването на загубите при заприщване на свръхзвуковия поток преди постъпването му в двигателя е необходимо преходът от свръхзвукови скорости към дозвукови да се осъществява посредством редица коси скокове на уплътнение, завършващи със слаб прав скок.

В този случай правият скок с твърде голяма интензивност може да се замени с няколко коси скокове, във всеки от които измененията на скоростта и налягането се оказват значително по-малки, отколкото при наличието само на прав скок, поради което и загубите тук се получават по-малки.



Фиг. 7. Схема на правопоточен ВРД за свръхзвукови скорости на полета с трискоков входен дифузор:
1 — коси скокове; *2* — прав скок

За образуването на коси скокове може да се използува специална профилирана игла, поставена в дифузора и изнесена срещу насрещния поток. Схема на правопоточен ВРД за свръхзвукови скорости на полета с трискоков дифузор е изобразена на фиг. 7.

Правопоточният ВРД за свръхзвукови скорости на полета се отличава от дозвуковия правопоточен ВРД не само по наличието на специалния многоскоков входен дифузор, но още и по формата на реактивното сопло. Това се обяснява с факта, че в реактивното сопло се достигат много големи разлики на налягания, съответствуващи на свръхзвуковите скорости на изтичането. В такъв случай реактивното сопло трябва да се прави в началото стесняващо, а след това разширяващо. В стесняващата се част на соплото скоростта на газа се увеличава до скоростта на звука. По-нататъшното увеличаване на скоростта на потока става в разширяващата се част на соплото.

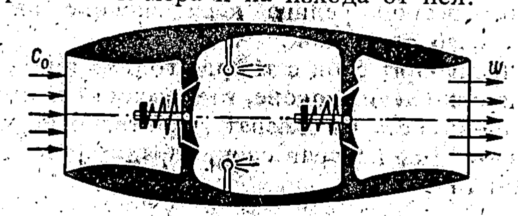
За повишаване ефективността на безкомпресорните ВРД при малки скорости на полета се правят опити за подобряване използуването на топлината чрез осъществяването процеса на горене не при постоянно налягане, а при постоянен обем. Към такива двигатели се отнасят пулсиращите ВРД.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

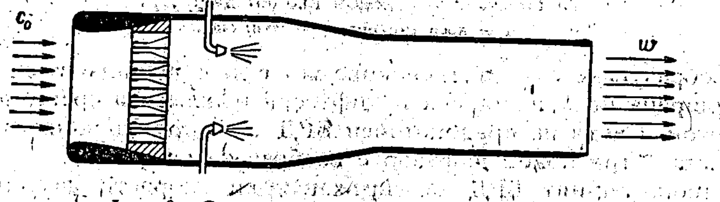
Пулсиращият ВРД (фиг. 8) конструктивно се отличава от правопоточния по наличието на клапи на входа на горивната камера и на изхода от нея.

Предварителното сгъстяване на въздуха в пулсиращия ВРД се постига за сметка на използуването на скоростния напор, а изгарянето — за сметка на периодически редуващи се възпламенявания. При това запълването на горивната камера става при отворени входни и затворени изходни клапи, а горенето — при затворени клапи на входа в горивната камера и на изхода от нея.



Фиг. 8. Схема на пулсиращ ВРД

При изгарянето на горивото в затворен обем налягането в камерата силно се повишава. Това подобрява икономичността на работния процес на пулсиращия ВРД в сравнение с правопоточния. При достигането в горивната камера на максимално налягане изпускателните клапи се отварят и горящите газове с голяма скорост изтичат от реактивното сопло. След това се отварят всмукателните клапи и камерата се продухва. По-нататък цикълът се повтаря.



Фиг. 9. Схема на резонансно-пулсиращ ВРД

Големите хидравлични загуби, възникващи при работата на изпускателните клапи, и несигурната им работа при високите температури са наложили в ред случаи да се поставят клапи само на входа в горивната камера. Това възпрепятствува пълното реализиране преимуществата на цикъла с горене при постоянен обем, но все пак позволява малко да се подобрят данните на безкомпресорните ВРД при малки скорости на полета.

Ефективността на пулсиращия ВРД, който няма изпускателни клапи, се увеличава за сметка на използуването вместо реактивно сопло на дълга цилиндрическа тръба, при което се използува резонансният ефект. Такъв резонансно-пулсиращ ВРД (фиг. 9) може да работи и да създава теглителна сила даже при отсъствието на насре-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

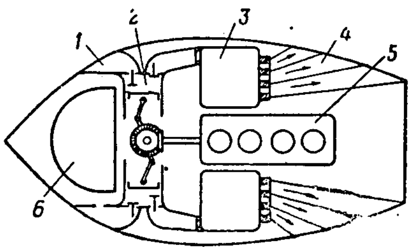
щен въздушен поток, т. е. при работа на място. Това се обяснява с обстоятелството, че в края на изтичането вследствие инерцията на излизащите газове в горивната камера се образува разреждане, благодарение на което всмукателните клапи се отварят и пропускат в горивната камера нова порция въздух.

Първата резонансно-пулсираща горивна камера е била изработена в 1908 година от руския инженер В. В. Караводин.

Пулсиращите ВРД не са получили широко практическо приложение в авиацията главно поради малката си ефективност.

Съществено подобряване на икономичността и увеличаване на теглителната сила на ВРД при дозвуковите и относително неголемите свръхзвукови скорости на полета се постигат за сметка на използването за сгъстяване на въздуха на компресор, който се привежда в движение от газова турбина. Въздушно-реактивните двигатели от такъв тип се наричат турбо-реактивни двигатели (ТуРД) и са получили сега най-широко разпространение.

Първият проект на ВРД с предварително сгъстяване на въздуха посредством струен компресор (инжектор) е бил предложен в 1867 г. от Н. Телешев. Двигателят, проектиран от Н. Телешев, е включвал в себе си всички части, характерни за съвременните ВРД.



Фиг. 10. Схема на мото-компресорния ВРД на А. Горохов:
1 — входен дифузор; *2* — компресор; *3* — горивна камера; *4* — реактивни сопла; *5* — бутален двигател; *6* — горивен резервоар

В 1911 г. инженер А. Горохов е разработил проект на мото-компресорен ВРД (фиг. 10). Двигателят на Горохов се е състоял от входен дифузор *1*, компресор *2*, горивна камера *3* и реактивни сопла *4*. Предполагало се е компресорът да се привежда в движение посредством бутален двигател *5*, тъй като в това време още не са били създадени сигурно работещи газови турбини.

Този проект, който е първообраз на някои схеми от съществуващите сега авиационни ВРД, е бил публикуван в книгата на А. Горохов „Летателна машина на бъдещето, движена от изтичащите в атмосферата газове". В своята книга Горохов си е задал за цел да докаже преимуществото на реактивните двигатели в сравнение с витловите чрез сравняване на техните к. п. д. Горохов е направил правилен извод в смисъл, че при големи скорости на полета к. п. д. на реактивния двигател превишава по величина к. п. д. на витловия двигател и че с течение на времето в областта на големите скорости на полета витловите двигатели ще бъдат изместени от реактивните.

Работата на руските изобретатели в дореволюционния период свидетелствува за това, че още в миналото столетие най-добрите представители на руската наука непосредствено са

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

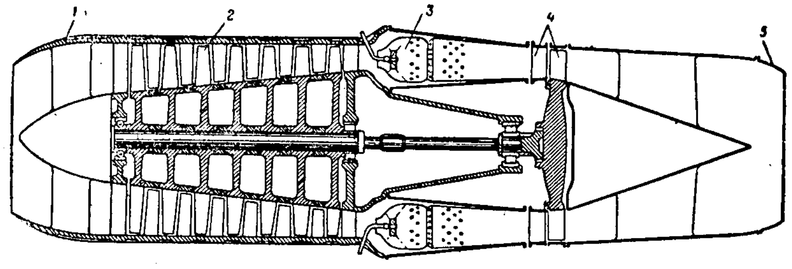
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

дошли към разрешението на проблемата за използуването на реактивния двигател в авиацията. Обаче осъществяването на тези проекти на практика е било много трудно. Първо, в царска Русия, в обстановка на преклонение на управляващите кръгове пред всичко задгранично, авторите на тези изобретения са били лишени от всякаква помощ и поддръжка; второ — ниският уровен на развитие на техниката през този период не е позволявал да се реши задачата по практическото осъществяване на проектите, които по своята идея много са изпреварили техническите възможности на своето време.

Победата на Великата октомврийска социалистическа революция откри широки възможности за развитие на науката и техниката в съветската страна. Огромното внимание, което отделят Комунистическата партия и Съветското правителство за развитието на авиационната наука и техника, е позволило на съветските конструктори да създадат първокласни реактивни двигатели.

Да се запознаем по-подробно с принципа на работа на турбореактивните двигатели.

Турбо-реактивният двигател (ТуРД) се състои от следните основни части: входно устройство *1*, компресор *2*, горивна камера *3*, газова турбина *4* и реактивно сопло *5* (фиг. 11 и 12).



Фиг. 11. Схема на ТуРД с осев компресор:
1 — входно устройство; *2* — осев компресор; *3* — горивна камера; *4* — газова турбина; *5* — реактивно сопло

За сгъстяването на въздуха в ТуРД се употребяват както центробежни, така и осеви компресори. Схема на ТуРД с осев компресор е изобразена на фиг. 11, а с центробежен — на фиг. 12.

В полет в резултат на заприщване на въздушния поток въздухът предварително се сгъстява. Обаче степента на сгъстяването на въздуха от скоростния напор при дозвуковите скорости на полета в действителност е сравнително малка. По-нататъшното сгъстяване на въздуха се осъществява от компресора, при което налягането му се увеличава няколко пъти.

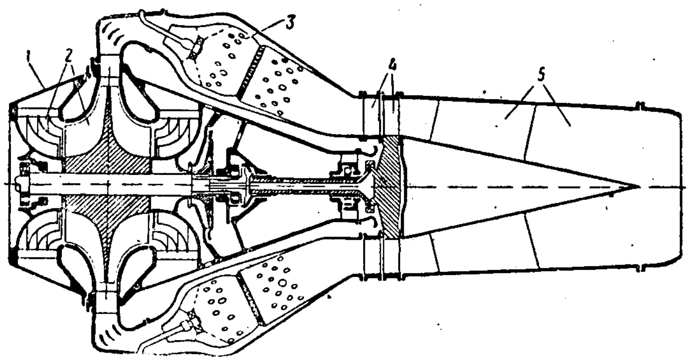
От компресора въздухът с повишено налягане се подава в горивната камера, където му се предава топлина за сметка на изгарянето на горивото. Процесът на горенето (подвеждане на топлина), както и в правопоточния ВРД, става при постоянно (по-точно при незна-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

чително падащо) налягане. Допустимата температура на газа на изхода от горивната камера в съвременните ТуРД е 850÷900°C. По-нататъшното повишаване на тази температура, макар и желателно, е недопустимо поради опасността от прегряване и нарушаване условията за сигурна работа на турбината.

Горивните камери на ТуРД са направени по такъв начин, че в зоната на горенето се подвежда само част от въздуха. Температурата в тази зона е по-голяма от 2000°C. Такава висока температура в зоната на горенето способствува за подобрение процеса на горенето. Другата част от въздуха постепенно се примесва с продуктите на горенето, като понижава температурата им до 850÷900°C, която е приемлива за лопатките на газовата турбина в съвременния турбо-реактивен двигател. При такава конструкция на горивната камера се осигурява надеждно охлаждане на отделните ѝ елементи.



Фиг. 12. Схема на ТуРД с центробежен двигател:
1 — входно устройство; *2* — центробежен компресор; *3* — горивна камера; *4* — газова турбина; *5* — реактивно сопло

От горивната камера газовият поток, който има голяма потенциална енергия, получена за сметка на сгъстяването на въздуха и топлината от изгарянето на впръснатото гориво, постъпва в газовата турбина. В газовата турбина част от тази енергия се преобразува в механическа работа, която се използува за въртене на компресора и привеждане в движение на всички спомагателни агрегати, обслужващи работата на двигателя. В турбината газът частично се разширява, а на изхода от нея има налягане, по-голямо от атмосферното.

По-нататъшното разширение на газа до атмосферното налягане става в реактивното сопло, в резултат на което налягането и температурата му се понижават, а неговата скорост се увеличава, достигайки на изхода от реактивното сопло 650 *м/сек* и повече.

Възникващата теглителна сила при пълното разширение на газа в реактивното сопло е равна на:

$$P = \frac{G}{g}(w - c_0).$$

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

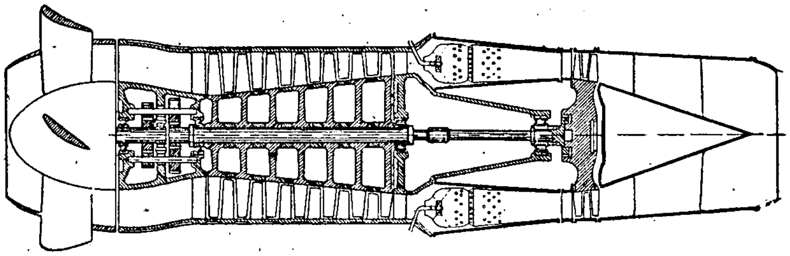
Подвеждането на топлина в ТуРД се осъществява при налягане, значително по-голямо, отколкото при правопоточните ВРД. Ето защо топлината в ТуРД при съвременните скорости на полета се използува по-ефикасно, а теглителната сила и к. п. д. се получават по-високи.

При съществуващите скорости на полета ТуРД могат да създават огромни теглителни мощности, с много пъти превишаващи мощностите на буталните авиационни двигатели. При това създаваната от тях теглителна сила при изменение скоростта на полета се изменя незначително. Затова теглителната мощност в ТуРД се увеличава приблизително пропорционално на скоростта на полета. Относителният (специфичният) разход на гориво в ТуРД при скорост на полета около 900 *км/ч* става приблизително същият и даже по-малък от този при витло-моторните установки с бутални авиодвигатели. При малки скорости на полета ТуРД е по-неикономичен от витломоторната установка.

Всичко това прави по-целесъобразно използуването на ТуРД при дозвуковите и свръхзвуковите скорости на полета. Затова сега турбо-реактивният двигател стана основен двигател в скоростната авиация.

Двигатели, в които мощността на газовата турбина значително превишава мощността, необходима за въртенето на компресора, а образуващият се излишък от мощност се предава на въздушно витло, се наричат турбо-витлови двигатели (ТВД).

Турбо-витловият двигател (ТВД) (фиг. 13) се състои от същите основни части, както и ТуРД, но освен това той има въздушно



Фиг. 13. Схема на турбо-витлов двигател

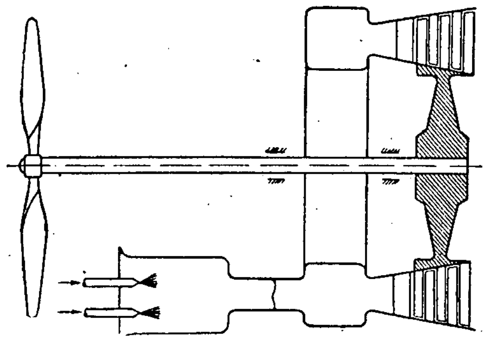
витло, валът на което се съединява с вала на компресора посредством редуктор. Използуването на редуктор се обяснява с това, че за намаляване размерите и теглото на двигателя неговият ротор е разчетен на значително по-големи обороти, отколкото това е необходимо на въздушното витло. В турбината на ТВД разширяването на газа се осъществява до налягане, почти равно на атмосферното, следователно тя трябва да се прави многостепенна — с две, три или с по-голямо число на степените.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

От гледна точка на преобразуването на енергията в теглителна работа основното различие между ТуРД и ТВД се състои в това, че в ТуРД теглителната сила се създава само за сметка на реакцията на газовата струя, преминаваща през двигателя, а в ТВД — главно от въздушното витло и частично за сметка на реакцията на газовата струя.

Ефективното преобразуване на енергията в теглителна работа както за въздушното витло, така и за реактивната струя се характеризира от съответния к. п. д. Въздушното витло има по-голям к. п. д. при малки скорости на полета, а газовата струя — при по-големи скорости на полета. Затова ТуРД е по-изгодно да се използува при полети с големи скорости, а ТВД — при излитане и при полет с относително малки скорости (700—900 *км/час*).



Фиг. 14. Проект на турбо-витловия двигател на М. Н. Николски

Срещат се схеми на ТВД с разделни турбини: първата турбина привежда във въртене компресора, а втората — въздушното витло. Това облекчава пускането и подобрява преходността на двигателя.

Създаването на сигурно работещ редуктор с голямо предавателно число за двигател, който има значителна мощност, представлява основната трудност при широкото внедряване в авиацията на турбовитловите двигатели.

Проект на авиационен турбо-витлов двигател е бил най-напред предложен в Русия от морския офицер М. Н. Николски в 1914 г. Съгласно този проект (фиг. 14) като източник на мощност за въртене на витлото се е предлагало да се използува газова турбина, работеща от газовете, получени при изгарянето на течно гориво и течен окислител. Газовете, изтичащи от турбината, се използуват за създаването на допълнителна реактивна теглителна сила. Сега такива турбини са намерили приложение в турбо-помпените агрегати на течно-реактивните двигатели (ТеРД).

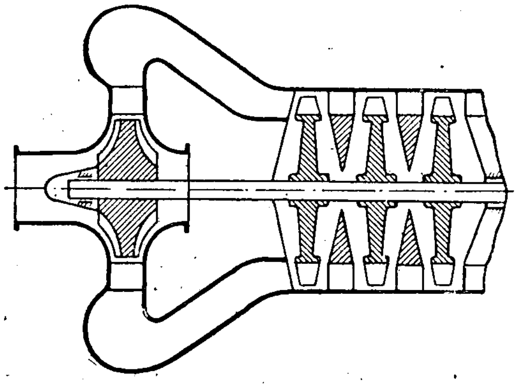
Проект на ТВД, в който като работно тяло да се използува въздух, е бил предложен от В. И. Базаров в 1923 г. (фиг. 15).

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Ако излишната мощност на газовата турбина се предава не на въздушно витло, а на вентилатор, поставен в пръстеновиден капот, такъв двигател се нарича двуконтурен ВРД (фиг. 16). Както се вижда от схемата, вътрешният контур на двигателя е направен по подобие на вътрешната част на ТВД, а външният контур, в който е разположен вентилатор, образува пръстеновиден тунел, обхващащ вътрешния контур. Конструктивната схема на двуконтурния ВРД най-напред е била разработена от А. М. Люлка в 1937 год.

Двуконтурните ВРД засега не са намерили широко практическо приложение. Трябва да се отбележи обаче, че тунелното разположение на вентилатора, което позволява запазването на неговия висок к. п. д. до много големи скорости на полета, а също така възможността да се форсира теглителната сила на двигателя при нужда чрез изгаряне на гориво във външния контур, открива възможност двуконтурният ВРД да се използува за свръхзвукови скорости на полета.



Фиг. 15. Проект на турбо-витловия двигател на В. И. Базаров

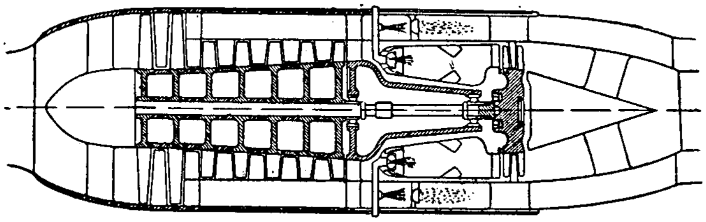
За създаването и развитието на въздушно-реактивните двигатели най-голяма роля са изиграли научните изследвания на руските и съветските учени.

Основоположник на теорията за реактивното движение е руският учен Николай Егорович Жуковски (1847—1921), наречен от В. И. Ленин „баща на руската авиация". В своите трудове „За реакцията на изтичащите и втичащите течности" (1882 и 1886) и „Към теорията на корабите, привеждани в движение от силата на реакцията на изтичащата вода" (1908) Н. Е. Жуковски пръв е разработил основните въпроси на теорията на реактивното движение, а неговите трудове по вихровата теория на гребните витла и осевите вентилатори (1912—1918) са залегнали в основата на съвременната теория на лопатъчните машини.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Голям принос в теорията на реактивните двигатели направи съветският учен академик Б. С. Стечкин. В 1929 г. Б. С. Стечкин публикува своя труд „Теория на въздушно-реактивния двигател", в който за пръв път в света научно обоснова възможността за използуването на ВРД в авиацията, изведе формулата за определяне теглителната сила и изследва к. п. д. на тези двигатели. Този труд залегна в основата на създадената съвременна теория на въздушно-реактивните двигатели и техния топлинен разчет.



Фиг. 16. Схема на двуконтурен въздушно-реактивен двигател

Впоследствие академик Б. С. Стечкин написа курс по „Теория на реактивните двигатели", публикуван в 1945 година. В този курс той разработи общата теория на турбо-реактивните двигатели и даде метода за построяването на техните характеристики. От него беше създаден също така и курсът по авиационните лопатъчни машини.

Б. С. Стечкин с право се смята основоположник на съвременната теория на въздушно-реактивните двигатели и на авиационните лопатъчни машини.

Редица важни теоретически въпроси по газовите турбини разработи проф. В. В. Уваров. В 1936 г. под негово ръководство беше построена експериментална газова турбина. Впоследствие проф. Уваров създаде няколко други оригинални конструкции на газови турбини. На него също така принадлежат редица нови идеи в областта на центробежните компресори.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Доцент, кандидат по техническите науки
инженер-майор Ю. Н. НЕЧАЕВ

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА АВИАЦИОННИТЕ ЛОПАТЪЧНИ МАШИНИ

Важно значение при създаването и развитието на съвременните реактивни двигатели имат трудовете по теорията, разчета и конструирането на лопатъчните машини: компресорите и газовите турбини.

Лопатъчни машини е прието да се наричат такива машини, в които работни елементи са редуващи се последователно редове въртящи се и неподвижни лопатки.

Всеки ред от въртящите се лопатки, закрепени на общ диск, съставлява работно колело. Всеки ред неподвижни лопатки съставлява неподвижен направляващ (или изправящ) апарат.

Работното колело заедно с неподвижния направляващ апарат образува степен на лопатъчната машина. Лопатъчните машини могат да бъдат както едностепенни, така и многостепенни.

Лопатъчните машини по характера на движението на газовия поток в тях се подразделят на центробежни и осеви. В центробежните лопатъчни машини газовият поток има радиална посока на движение; това създава благоприятно условие за използуване работата на центробежните сили, възникващи при въртенето на колелото. В осевите лопатъчни машини посоката на движение на газовия поток съвпада или почти съвпада с посоката на оста на въртенето на работното колело, затова и взаимодействието между изтичащия газов поток и лопатките (образуващи така наречената решетка на профилите) се осъществява предимно за сметка на газодинамичеките сили.

Във въздушно-реактивните двигатели за сгъстяването на въздуха се употребяват както центробежни, така и осеви компресори, а за въртене на компресорите и въздушните витла се използуват обикновено осеви газови турбини.

Центробежните компресори се използуват широко в авиацията за сгъстяване въздуха във въздушно-реактивните двигатели, а също така за повишаване наляганията на пълненето (надува) и за поддържане на всички височини (до разчетната) постоянно налягане на пълненето в буталните авиационни двигатели.

Центробежен компресор с двустранен вход, предназначен за сгъстяване на въздуха в ТуРД, е показан на фиг. 17. Компресорът

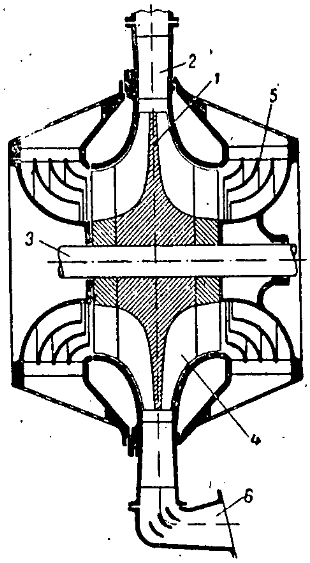
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

се състои от две основни части: колело *1* и лопатъчен дифузор *2*. Колелото е поставено на вала *3*, с помощта на който се привежда във въртене. То е снабдено с голям брой лопатки *4* (обикновено радиални). Въздухът се подвежда към колелото с помощта на специални направляващи устройства *5*, осигуряващи равномерен ход на въздуха в необходимата посока с минимални загуби.

Когато минава по каналите, образувани от лопатките на колелото, въздухът се завъртва заедно с колелото и под действието на центробежните сили се сгъстява. Едновременно с това се увеличава абсолютната скорост на движението на въздуха, която на изхода от колелото достига величина, близка до окръжната скорост на колелото.

В лопатъчния дифузор кинетичната енергия, предадена на въздуха от колелото, се използува за неговото по-нататъшно сгъстяване. При движението на въздуха по разширяващите се канали, образувани от лопатките, скоростта му се намалява, а налягането му се увеличава. По такъв начин сгъстяването на въздуха се осъществява последователно—отначало в колелото, а после в лопатъчния дифузор. Излизайки от дифузора, въздухът попада в изходните колена *6*, по които той се подвежда към горивните камери на двигателя.



Фиг. 17. Схема на центробежен компресор с двустранен вход:
1 — колело; *2* — лопатъчен дифузор; *3* — вал; *4* — лопатки на колелото; *5* — направляващо устройство; *6* — изходни колена

* * *

Развитието на авиационните центробежни компресори през първия етап е било свързано с използуването опита от експерименталните и теоретическите работи по промишлените центробежни компресори, вентилатори и хидропомпи, които още от 18 век са били широко използувани за вентилация на рудници и шахти, за подаване въздух в ковачното дело и в металургията, за водоснабдяване и други цели. Към това време се отнасят и първите теоретически работи по центробежните компресори, написани в Русия от Леонард Ойлер (1707—1783).

Ойлер е създал елементарната струйна теория на центробежните лопатъчни машини, редица изводи от която се използуват и досега. Тази теория най-напред е била публикувана от него в труда му „По-пълна теория на машините, привеждани в движение от действието на водата“, издаден в Петербург в 1754 година. В него

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Л. Ойлер извел формулата за определяне ефективната работа, изразходвана при въртенето на колелото на центробежния компресор, наречена сега формула на Ойлер.

Създател на първите центробежни вентилатори и помпи с промишлено значение е бележитият руски изобретател генерал-лейтенант А. А. Саблуков (1783—1857). В 1832 г. А. А. Саблуков пръв в света е създал и практически е използувал за промишлени цели центробежния вентилатор. Впоследствие той е конструирал няколко образци центробежни вентилатори, които широко са били използувани за вентилация на рудници и промишлени помещения.

Хидродинамическата теория на центробежните компресори е неразривно свързана с името на Н. Е. Жуковски, който е разпространил своята вихрова теория за витлото върху центробежните вентилатори. Важна роля в разработката на тази теория са изиграли опитите с колелото на центробежния вентилатор, направени от Н. Е. Жуковски в 1911 г. в Московския държавен университет. Въз основа на тези опити Н. Е. Жуковски в статията си „Вихровата теория на гребното витло“, публикувана в 1914 година, е изложил резултатите от своите изследвания и ги е нарекъл „вихрова теория на центробежния вентилатор“. Тази работа е сложила началото на развитието на вихровата теория на центробежните вентилатори и компресори.

Най-големи успехи хидромашиностроенето в Русия и в частност компресоростроенето достигна през време на съветската власт. Благодарение грижите на Комунистическата партия и Съветското правителство бяха създадени редица крупни научноизследователски институти и привлечени на работа в областта на хидромашиностроенето най-добрите научни сили; укрепиха се творческите връзки между работниците на науката и промишлеността.

Първите опити за използуване на приводните центробежни компресори (нагнетатели) (ПЦН) като средство за запазване на постоянно налягане на всмукването (пълненето) в буталния авиационен двигател с изкачването на височина се отнасят към 1914—1915 г. Обаче широкото използуване на компресорите в авиацията започна от 1926—1928 г.

Първите ПЦН даваха твърде малко налягане и имаха нисък к. п. д., което ограничаваше тяхното приложение. За тази цел витло-моторният отдел на ЦАГИ, който в това време беше ръководен от Б. С. Стечкин, проведе ред експериментални работи по изследване отделните елементи на центробежните компресори.

Към 1928—1930 г. Б. С. Стечкин създаде теорията за разчета на авиационните центробежни компресори, която беше публикувана в 1934 година.

В периода 1934—1937 год. в ЦАГИ бяха проведени редица експериментални работи по изследване течението на въздуха в отделните елементи на центробежния компресор. Опитните данни, получени в резултат на проведените работи, позволиха значително да

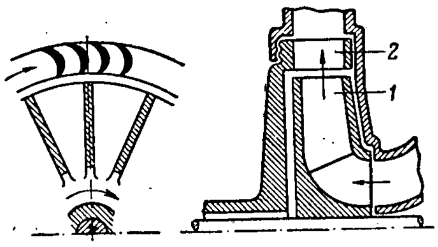
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

се повиши точността на хидравличния разчет на центробежния компресор.

Голям принос в развитието на теорията на центробежните компресори внесе проф. В. И. Димитриевски със своята работа „Компресори и надув на авиационните двигатели" (издадена в 1935 година и преиздадена съвместно с К. В. Холщевников в значително допълнен вид в 1939 година), в която особено внимание беше отделено на въпроса за построяване характеристиките на компресора.

В 1930 год. проф. В. В. Уваров предложи схема на центробежен компресор, оригинална конструкция, с дифузор, който има вид на въздушна турбина (фиг. 18). Този компресор беше изготвен в 1936 год. Процесът на сгъстяване на въздуха в компресора на Уваров става само в колелото *1*, а част от енергията, която обикновено се преобразува в налягане в дифузора, имащ нисък к. п. д., се превръща в механическа работа в радиалната въздушна турбина *2*, която има по-висок к. п. д. Създаваната от турбината работа се предава на вала на компресора или на въздушно витло. В чужбина схемата на такъв центробежен компресор е била повторена от Хепнер едва след 12 години.



Фиг. 18. Схема на центробежния компресор на В. В. Уваров:
1 — колело; *2* — въздушна турбина

Осевите многостепенни компресори наред с центробежните компресори намериха широко приложение в авиационните и стационарните силови установки.

Използуването на осевите компресори в ТуРД и ТВД се обяснява с редица техни преимущества. Техният к. п. д. е по-висок, отколкото на центробежните компресори; освен това те могат да осигуряват много по-голям разход на въздух (при еднакви челни размери) и позволяват да се получат по-високи степени на сгъстяване, отколкото едностепенните центробежни компресори.

На фиг. 19 е изобразена схема на многостепенен осев компресор. Въздух към първата степен се подава от пръстеновидния въздухозаборник *1*. Сгъстяването на въздуха се осъществява посредством няколко степени, разположени една зад друга. Всяка степен се състои от въртящо се работно колело *2* и неподвижен изправящ апарат *3*.

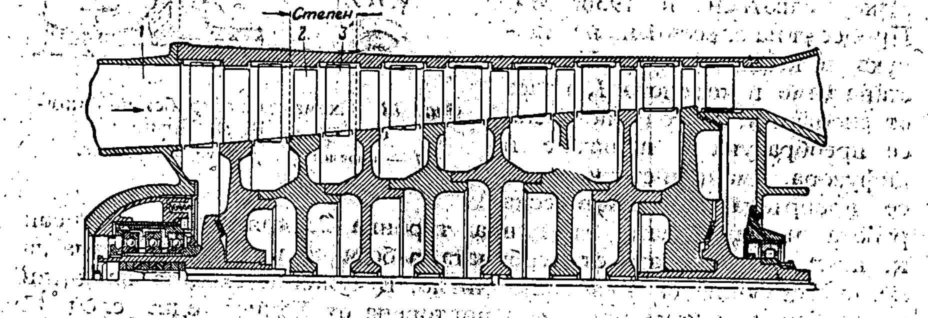
Основните работни елементи на колелото и изправящия апарат са лопатките, които сгъстяват минаващия през компресора въздух.

На фиг. 20 е показана схема на отделните степени и сечението на лопатките на работното колело и изправящия апарат; с цифрите *1*, *2*, *3* са обозначени характерните сечения: на входа в колелото

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

с *1*, на изхода от него с *2* и на изхода от степента с *3*. Обозначенията на скоростите на въздушния поток имат индекса на съответното сечение. От фиг. 20 се вижда, че лопатките на работното колело и изправящия апарат са поставени по такъв начин, че образуват заедно разширяващи се канали. Въздухът подхожда към лопатките на работното колело с голяма относителна скорост, която се определя като векторна сума от абсолютната скорост на въздуха, постъпващ към степента, и окръжната скорост на лопатките на колелото. За сметка на намаляване относителната скорост на въздуха в разширяващите се канали, образувани от лопатките на работното колело, става повишаване на налягането му. Едновременно с това се увеличава и абсолютната скорост на въздуха за сметка на завъртването, което колелото предава на въздуха, увличайки го по посока на въртенето.



Фиг. 19. Схема на многостепенен осев компресор:
1 — пръстеновиден въздухозаборник; *2* — работно колело; *3* — изправящ апарат

Изправящият апарат е поставен зад колелото и изпълнява ролята на изходен дифузор: в него кинетичната енергия, предадена на въздуха от лопатките на колелото, се използува за по-нататъшното повишаване на налягането.

Използуването на осевите компресори в промишлеността е започнало значително по-късно от това на центробежните. Първоначално тяхното развитие се е основавало на опитите от приложението на другите осеви лопатъчни машини и преди всичко на водните и въздушните витла и осевите вентилатори.

Използуването на въздушните витла и осевите вентилатори е започнало в края на 19 век, а на водните витла — значително порано. Обаче теорията на техния разчет не е била разработена, поради което те са били малко ефективни и са имали много нисък к. п. д.

Само след появяването на вихровата теория на гребните витла и вентилатори, разработена от Н. Е. Жуковски, осевите лопатъчни машини започнали бързо да се развиват.

В статиите на Н. Е. Жуковски, публикувани под общо название „Вихрова теория на гребното витло", е била основно разработена теорията на витлата и осевите вентилатори. В нея Н. Е. Жуковски

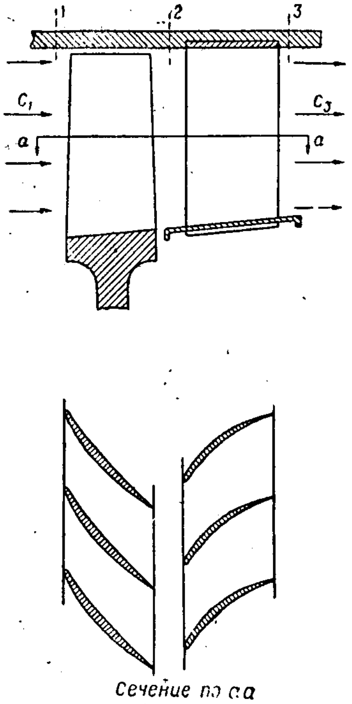
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

пръв е дал класически извод на теоремата за подемната сила на профил, работещ в решетка, обтичана от идеална несвиваема течност.

В. П. Ветчинкин в труда си „Разчет на гребното витло" (1913) е приложил теорията на Жуковски върху витло с променлива по дължината на лопатата циркулация на скоростите. В нея Ветчинкин пръв е разгледал действието на центробежните сили и е извел условието за радиалното равновесие.

Прилагането на вихровата теория на Н. Е. Жуковски при разчета на осевите вентилатори веднага е дало добри резултати. За периода от 1913 до 1916 г. са били построени няколко вентилатора тип „НЕЖ" за аеродинамически тръби (така били наречени вентилаторите с постоянна циркулация по дължината на лопатките, разчетът на които е бил даден от самия Н. Е. Жуковски). Коефициентът на полезното действие на тези вентилатори е достигал до 0,6 и почти два пъти е превъзхождал к. п. д. на съществуващите порано вентилатори. Обаче вентилаторите тип „НЕЖ" не са получили веднага приложение в промишлеността. Царските чиновници и крупните фабриканти с пренебрежение са се отнасяли към руската наука и техника, не са им обръщали никакво внимание и са продължавали да доставят вентилатори от чужбина.



Фиг. 20. Схема на степен от осев компресор

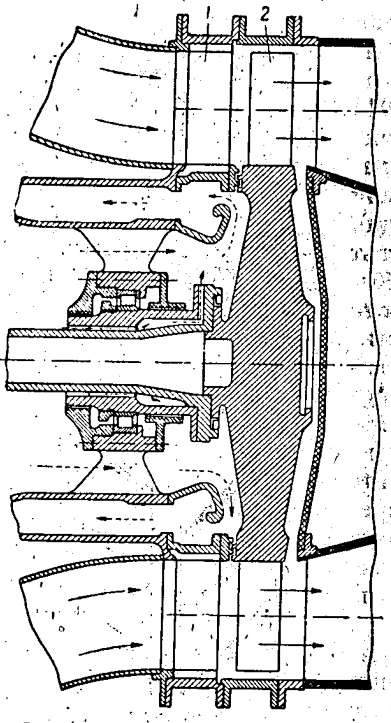
След Великата октомврийска социалистическа революция знаменитите работи на Н. Е. Жуковски по теорията и разчета на витлата и вентилаторите намериха своето по-нататъшно развитие и широко приложение.

В 1927—1929 г. в промишлеността се появиха първите вентилатори на ЦАГИ. От това време в ЦАГИ систематически се провеждат работи по проектирането на осеви вентилатори на основата на вихровата теория на Н. Е. Жуковски. В периода от 1929 до 1934 г. в ЦАГИ бяха разработени и построени много осеви вентилатори от различни серии, при това тяхното развитие вървеше по пътя на увеличението на к. п. д. и окръжната скорост; освен това бяха проведени многобройни изпитания на тези вентилатори и издадени атлази на техните характеристики.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

В 1936 г. беше издаден трудът на проф. К. А. Ушаков „Аеродинамически разчет на осевия вентилатор“. В него беше даден методът на проектировъчния разчет на осеви високонапорни вентилатори на основата на вихровата теория на Н. Е. Жуковски. В своя труд К. А. Ушаков доказа, че при високонапорните вентилатори трябва да се използуват изправящи апарати, и даде метод за техния разчет. В същия труд той предложи способ за изкривяването на профилите при построяването на работните и изправящите лопатки, изведе формулата за проверка гъстотата на решетката на профилите и разреши редица други важни въпроси.



Фиг. 21. Схема на едностепенна газова турбина:
1 — неподвижен соплов апарат;
2 — въртящо се работно колело

Напечатаната в 1944 година статия на К. К. Баулин „Аеродинамически разчет на степените на осевия компресор“ и редица други трудове бяха насочени към разучаване различните схеми на степените на осевия компресор и към определяне възможностите за понататъшното повишаване налягането в степените.

Повишаването степента на сгъстяване на въздуха в степените на осевия компресор наложи да се вземе предвид свиваемостта на въздуха.

В 1944 г. академик Б. С. Стечкин приложи теорията на Н. Е. Жуковски за подемната сила на профила, работещ в решетка, към случая на обтичане на решетката от свиваем газ, а в 1947 г. публикува първия систематичен курс лекции по теорията на осевите компресори.

В последните години развитието на теорията на осевите компресори върви особено интензивно и успешно. Тя получи своето по-нататъшно развитие в трудовете на Л. А. Симонов, К. В. Холщевников, С. А. Довжик и др.

Газовите турбини, използувани за движение на компресорите на ТуРД, обикновено биват едностепенни или двустепенни.

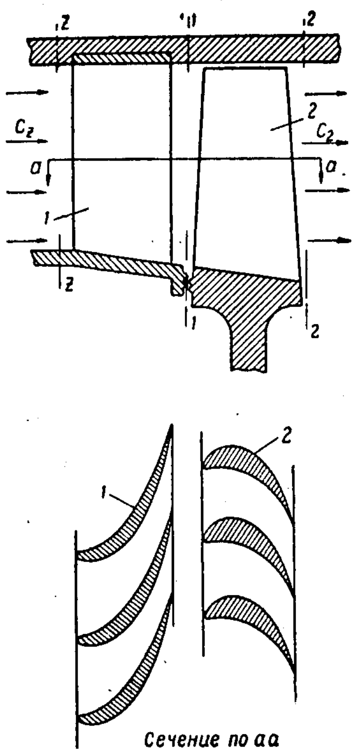
Схема на едностепенна газова турбина е изобразена на фиг. 21. Основни нейни елементи са неподвижният соплов апарат със соплови лопатки *1* и въртящото се колело с работни лопатки *2*. На фиг. 22 са показани соплови и работни лопатки и техните сечения,

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

а така също и характерните сечения на турбината: *z* — на входа в сопловия апарат (на турбината), *1* — на изхода от сопловия апарат и *2* — на изхода от колелото на турбината. Обозначенията на скоростите на газа в различните сечения имат съответните индекси.

Работата на турбината се заключава в следното. Сгъстеният и нагрят газ постъпва от горивната камера в междулопатъчните канали на сопловия апарат, които имат площ на проходното сечение на изхода по-малка, отколкото на входа. В сопловия апарат става разширение на газа, в резултат на което част от неговата потенциална енергия се превръща в кинетична енергия. Налягането и температурата на газа при това се понижават.



Фиг. 22. Схема на степените на газовата турбина:
z — *z*, *1* — *1*, *2* — *2* — характерни сечения на турбината; *1*—неподвижни лопатки на сопловия апарат; *2* — лопатки на работното колело

Излизайки от сопловия апарат, газът, който има голяма скорост, попада на лопатките на работното колело на турбината. Част от кинетичната енергия, получена от газа в сопловия апарат, се преобразува от работните лопатки на турбината в механическа работа на въртенето на турбината. При това налягането върху изпъкналите повърхности на лопатките се оказва по-голямо, отколкото върху вдлъбнатите. Под влиянието на получаващата се разлика в наляганията (подемна сила) става въртенето на лопатките и на свързаното с тях колело.

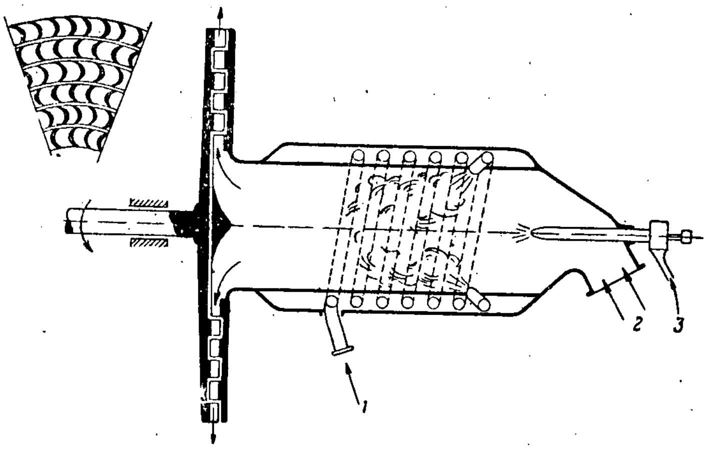
Ако разширението на газа завършва напълно в сопловите лопатки, а в работните лопатки става само преобразуването на кинетичната енергия на газа в механическа работа на въртене на колелото, турбината се нарича *активна*. Ако разширението на газа не завършва в сопловите лопатки, а продължава и в работните лопатки, турбината се нарича *реактивна*. Каналите между работните лопатки на реактивната турбина имат стесняваща се форма. В тях става намаляване на налягането и температурата на газа и увеличаване на относителната скорост. Ускорението на потока предизвиква реактивно въздействие върху лопатките наред с активното въздействие на изтичащата газова струя, излизаща от сопловия апарат.

В ТуРД се употребяват реактивни турбини, тъй като те имат редица преимущества и в частност по-висок к. п. д.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Като стационарни двигатели газотурбинните установки са започнали да се използуват в промишлеността още в началото на 20 век. Тяхното развитие е било тясно свързано с резултатите от използуването на парните турбини, които по това време са получили вече широко разпространение и са започнали да изтласкват от някои отрасли на промишлеността парните машини. Най-интензивно развитие газовите турбини получиха в последното десетилетие във връзка с използуването им в авиацията.



Фиг. 23. Газова турбина на П. Д. Кузмински:
1 — тръба за подаване вода; *2* — тръба за подаване сгъстен въздух; *3* — тръба за подаване гориво към форсунката

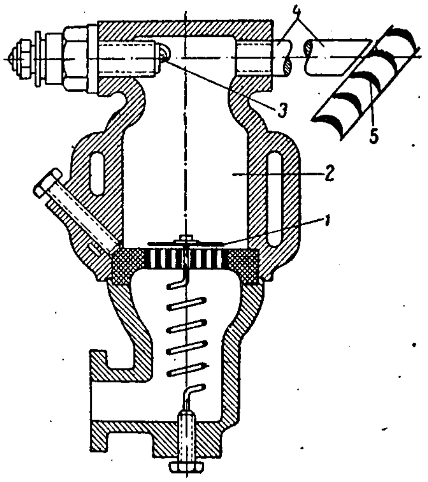
Първата газотурбинна установка с горене при постоянно налягане е била осъществена в 1892 г. от прочутия руски изобретател П. Д. Кузмински. Тя се е състояла от въздушен компресор, горивна камера (генератор за парогаз) и многостепенна радиална турбина с оригинална конструкция (фиг. 23). Горивната камера се е охлаждала с вода, която след това се е впръсквала в горивната камера за понижаване температурата на изгорелите газове. За съжаление П. Д. Кузмински е бил постигнат от участта на много руски изобретатели и учени, които не са срещали никаква поддръжка от страна на царското правителство. Неговата турбина не е могла да бъде изпитана поради липса на средства. Морското министерство, към което се обърнал П. Д. Кузмински за помощ, отказало да отпусне средствата, необходими за продължаване работата по създаването на първата газова турбина. Скоро след смъртта на изобретателя (1900) работите по усъвършенствуването на тази турбина въобще са били прекратени.

Стремейки се да увеличи икономичността на газотурбинната установка, руският инженер В. В. Караводин е създал в 1908 г. опитен модел на газова турбина, работеща с изгаряне на горивото при постоянен обем.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Турбпата на В. В. Караводин е имала 4 горивни камери и 4 сопла, разположени около диска на турбината (с диаметър 150 *мм*), и е работела без предварително сгъстяване на въздуха. Схема на горивната камера със соплото и диска на турбината е показана на фиг. 24. Турбината е работела по следния начин. През входния канал *1* гориво-въздушната смес постъпва в горивната камера *2*, където се възпламенява от свещта *3*. Под действието на нарастващото в камерата налягане клапанът се затваря и продуктите на горенето през сопловия апарат *4* се насочват към работното колело *5*. Вследствие инерцията на газовата струя, движеща се по дължината на соплото, в края на изтичането в камерата възниква разреждане, благодарение на което се отваря всмукателният клапан и става ново напълване на камерата с гориво-въздушна смес. Измерената мощност при изпитанието на турбината е била равна на 1,6 *к. с.*, а к. п. д. е достигал 0,025. Даже такъв резултат за модел, имащ твърде малки размери, е било голям успех.



Фиг. 24. Газова турбина на В. В. Караводин:

1 — входен клапан; *2* — горивна камера; *3* — свещ; *4* — сопло; *5* — работно колело

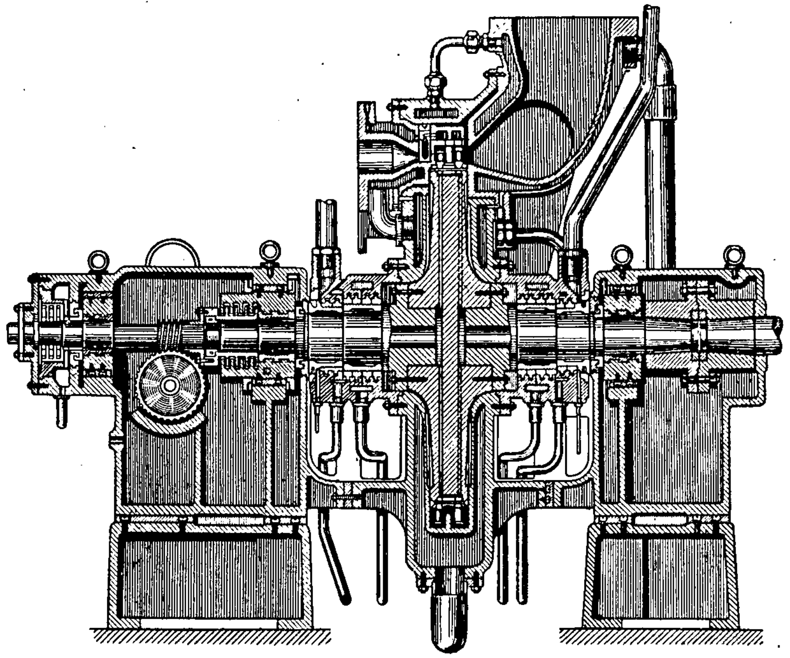
В другите страни в течение на дълъг период от време основните усилия са били насочени към създаване на газови турбини, работещи с изгаряне на горивото при постоянен обем. В тази насока упорито е работил Холцварт, който е построил няколко опитни турбини. Теоретическа поддръжка на Холцварт са оказали такива специалисти като Шуле и Стодола. Обаче дългогодишната работа на Холцварт не се увенчала с успех. Това значително е намалило интереса към газовите турбини, работещи с изгаряне на горивото при постоянен обем, които са били пропагандирани от болшинството западни учени и инженери. Руските учени-инженери са провеждали работи предимно по развитието и усъвършенствуването на газовите турбини, работещи с изгарянето на горивото при постоянно налягане. Особено много са направили за обосноваване целесъобразността от използуването на газови турбини, които работят с изгаряне на горивото при постоянно налягане, В. М. Маковски, Г. И. Затиков, В. В. Уваров и др. Те са доказвали, че такива газотурбинни установки при достатъчно висока температура на газа не само не отстъпват по к. п. д. на газотурбинните установки с изгаряне на горивото при постоянен обем, но ги превъзхождат по простота и сигурност в конструкцията. Теоретическите изводи на руските учени блестящо се потвърдиха от практиката.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Един от пионерите в областта на газотурбостроенето в СССР е професор В. М. Маковски, който в течение на редица години ръководеше създадения от него научен колектив при Харковския механико-машиностроителен институт.

В 1925 год. излиза от печат неговата монография „Опитно изследване на турбини с вътрешно горене при постоянно налягане".



Фиг. 25. Газова турбина на В. М. Маковски

В. М. Маковски конструира и в 1939 год. построи газова турбина с изгаряне на горивото при постоянно налягане, която работи с продукти от подземната газификация на каменните въглища (фиг. 25). Мощността на установката достига 400 *квт* при налягане в горивната камера 4 *кг/см*^{2}. Горивната камера е изработена от чугун с вътрешна покривка; валът, дискът и кухите лопатки на турбината се охлаждат с вода. Турбината е монтирана в опитна шахта. Въвеждането в експлоатация на такива турбини способствува за разрешаването на проблемата за подземната газификация на въглищата, важността на която е указал В. И. Ленин още в 1913 година.

Големи заслуги в областта на изследванията и конструирането на газовите турбини има професор В. В. Уваров. В 1935 г. той е издал курс по теорията и разчета на газовите турбини, в който бяха описани много нови оригинални изследвания. Курсът на

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

В. В. Уваров „Газови турбини“ е една от най-ценните монографии в литературата по газовите турбини. Той съдържа теоретическа разработка на редица въпроси, които имат актуално значение. Професор В. В. Уваров освен това е написал ред забележителни теоретически работи, между които трябва особено да се отбележат работите по профилировката на дългите лопатки на газовите турбини и по разчета на характеристиките на авиационните газотурбинни двигатели.

Успехите в областта на авиационното газотурбостроене и компресоростроене, а така също грамадният производствен и експлоатационен опит позволиха на съветските конструктори да създадат съвършени газотурбинни двигатели.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Доцент, кандидат по техническите науки
инженер-подполковник А. Н. ГОВОРОВ

ПРОЦЕС НА СГЪСТЯВАНЕ НА ВЪЗДУХА В ЦЕНТРОБЕЖНИЯ КОМПРЕСОР ТуРД

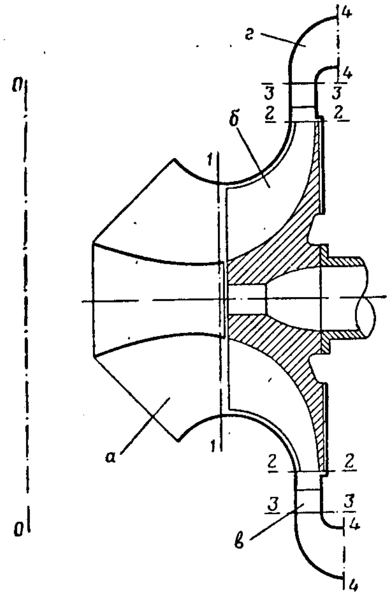
Схема и принцип на действие на центробежния компресор

Центробежните компресори служат за повишаване налягането на преминаващия през тях въздух; те широко се използуват в различните отрасли на народното стопанство.

В авиацията центробежните компресори от много години се използуват като приводни центробежни сгъстители и като сгъстители в турбокомпресорите за подобряване пълненето (надува) на буталните двигатели.

Особено значение центробежните компресори придобиха в резултат на използуването им в турбо-реактивните двигатели.

Центробежният компресор (фиг. 26) се състои от входно устройство *а*, колело *б*, дифузор *в* и изходни тръби (колена) *г*.



Фиг. 26. Схема на центробежен компресор:
а — входно устройство; *б* — колело; *в* — дифузор; *г* — изходни тръби

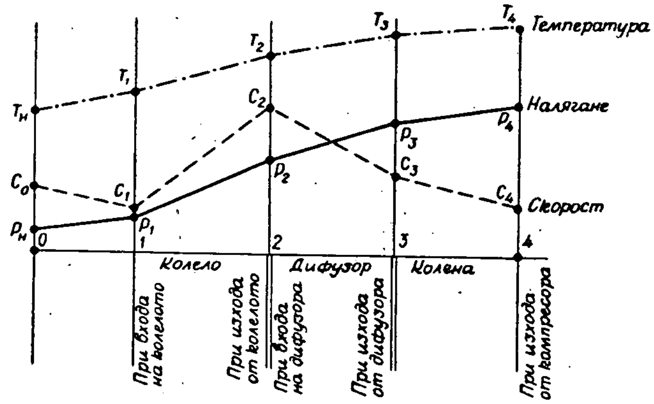
Основната работна част на компресора е колелото с лопатките Колелото е закрепено на вал, посредством който се привежда във въртене. Окръжната скорост на колелото на компресора на ТуРД достига 480—500 *м/сек*. Въздухът от атмосферата, преминавайки през входното устройство, постъпва в каналите между лопатките на въртящото се колело. Преминавайки по каналите, въздухът заедно с колелото се завъртва и под действието на центробежните сили се сгъстява, като на изхода на колелото, т. е. на входа в дифузора, има повишено налягане и голяма скорост,

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

близка по величина към окръжната скорост на колелото. Сгъстяването на въздуха в колелото и увеличаването на неговата скорост стават за сметка на външната работа, предадена на колелото посредством вала на компресора. В ТуРД колелото на компресора се привежда във въртене от газовата турбина.

Работата, подведена отвън към вала на компресора, се изразходва не само за извършване работа за сгъстяването на въздуха, но и за преодоляване на всички видове загуби и за увеличаване кинетичната енергия на въздуха. Работата, изразходвана за сгъстяването на въздуха, а следователно и за повишаването на налягането на въздуха в компресора е толкова по-голяма, колкото е по-голяма окръжната скорост на колелото.



Фиг. 27. График на изменението параметрите на въздуха при преминаването му през компресора

Дифузорът на компресора е подобен на обикновен разширяващ се канал: площта на изходното сечение на дифузора е по-голяма, отколкото площта на неговото входно сечение.

Скоростта на въздуха, който постъпва в дифузора, вследствие на увеличението площта на проходното сечение на дифузора се намалява, а налягането продължава да расте. По такъв начин става преобразуване на кинетичната енергия на въздуха в работа на сгъстяването. Излизайки от дифузора, въздухът през изходните тръби (колена) постъпва в горивните камери на двигателя. Обикновено процесът на превръщане кинетичната енергия на въздуха в работа на сгъстяването не завършва в дифузора, а продължава и в изходните тръби.

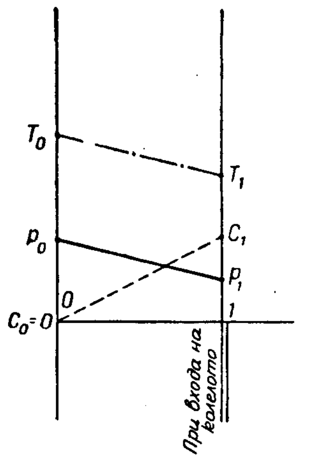
На фиг. 27 е показан график на изменението параметрите на въздуха при преминаването му през компресора. Характерните сечения на хидравличния път са обозначени с цифрите от *1* до *4* и със същите цифри те са означени и на фиг. 26. На тази фигура с

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

цифри са обозначени: *1* —сечението на входа в колелото, *2* — на изхода от колелото, *3* — на изхода от дифузора и *4* — на изхода от компресора. Сечението *O* е проведено в спокойната атмосфера пред входа на компресора. Параметрите, които характеризират състоянието на въздуха във всяко сечение (налягането p, температурата T и скоростта c), имат индекси, съответствуващи на сечението.

Да разгледаме как се изменят параметрите на въздуха при преминаването му през компресора.



Фиг. 28. **График на изменението параметрите на въздуха на входа в компресора при работа на място**

Пред входа в колелото вследствие намаляване скоростта на въздуха от c_0 (скоростта на полета) до c_1 (скоростта на входа в колелото), която обикновено е равна на $120 \div 140$ *м/сек*, налягането и температурата на въздуха се увеличават от p_0, T_0 до p_1, T_1. При работа на компресора на място и в полет при малки скорости, когато скоростта на полета c_0 е по-малка от скоростта на въздуха на входа в колелото c_1, благодарение увеличението скоростта на въздуха, постъпващ в компресора, налягането и температурата му малко се намаляват (фиг. 28).

В колелото за сметка на подведената работа отвън всички параметри на въздуха нарастват.

В дифузора и изходните тръби вследствие намаляването скоростта на въздуха температурата и налягането се увеличават.

Най-важните показатели, които характеризират работата на компресора на двигателя, са к. п. д. на компресора, секундният тегловен разход на въздуха G и степента на сгъстяване на въздуха в компресора $\varepsilon_к$ (отношението на налягането на въздуха на изхода от компресора p_4 към налягането на входа в колелото p_1, $\varepsilon_к = \frac{p_4}{p_1}\Big)$.

Обикновено за компресорите на въздушно-реактивните двигатели $\varepsilon_к = 4{,}2 \div 4{,}5$, а разходът на въздуха G се равнява на $40 \div 60$ *кг/сек*.

Степен на сгъстяване на двигателя ε се нарича отношението на налягането на въздуха на изхода от компресора p_4 към атмосферното налягане p_0.

Очевидно е, че при работата на двигателя на място и в полет, когато $c_0 < c_1$, то $\varepsilon < \varepsilon_к$, тъй като $p_1 < p_0$ (гледай фиг. 28). Ако скоростта на полета $c_0 > c_1$, то $\varepsilon > \varepsilon_к$ за сметка на скоростния напор $p_1 > p_0$ (гледай фиг. 27).

Разходът пък на въздуха през компресора зависи от оборотите на двигателя, височината и скоростта на полета.

Работата на отделните елементи на компресора, определяща изменението на параметрите на въздуха при движението му през компресора, ще бъде разгледана по-долу.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Уравнение за съхранението на енергията

Основните уравнения, които определят връзката между параметрите на въздуха при неговото преминаване през компресора, са уравнението за съхранение на енергията и уравнението на Бернули.

Уравнението за съхранение на енергията в общ вид най-напред е било формулирано от великия руски учен М. В. Ломоносов.

От уравнението за съхранение на енергията следва, че пълната енергия на 1 *кг* въздух при влизане в компресора плюс енергията, получена от него вътре в компресора, е равна на пълната му енергия на изхода от компресора.

Пълната енергия на движещия се въздух (газ) се състои от кинетичната енергия и от топлосъдържанието. Кинетичната енергия на 1 *кг* въздух на входа в компресора е равна на

$$\frac{c_1^2}{2g},$$

където c_1 — скорост на въздуха на входа в колелото на компресора.

Топлосъдържанието на 1 *кг* въздух на входа в компресора е равно на

$$\frac{c_p}{A} T_1.$$

Както е известно от термодинамиката,

$$\frac{c_p}{A} = \frac{k}{k-1} R.$$

За въздуха $k=1{,}4$; $R=29{,}27$ [*кгм/кг. град.*] и $\frac{c_p}{A}=102{,}5$ (*кгм/кг. град.*].

По-нататък в книгата всички величини ще бъдат отнесени към един *кг* въздух, преминаващ през компресора.

И така пълната енергия на 1 *кг* въздух на входа в компресора ще бъде

$$\frac{c_1^2}{2g} + \frac{c_p}{A} T_1,$$

а пълната енергия на 1 *кг* въздух на изхода от компресора ще бъде равна на

$$\frac{c_4^2}{g} + \frac{c_p}{A} T_4$$

(c_4 и T_4 — скорост и температура на въздуха на изхода от компресора).

Енергията, предадена на 1 *кг* въздух в компресора, се подвежда както във вид на механическа работа, изразходвана за въртене на компресора $L_{е.к}$, така и във вид на топлина, предадена на въздуха отвън през стените на компресора $Q_{вън}$. Работата, израз-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ходвана за въртене на компресора $L_{г.к}$, е прието да се нарича ефективна работа за сгъстяване на 1 *кг* въздух.

Както вече се каза по-горе, пълната енергия на въздуха на входа в компресора, събрана с енергията, получена в компресора, е равна на енергията на въздуха на изхода от компресора.

Тогава уравнението за съхранение на енергията ще има следния вид

$$\frac{c_1^2}{2g}+\frac{c_p}{A}T_1+L_{г.к}+\frac{Q_{вън}}{A}=\frac{c_p}{A}T_4+\frac{c_4^2}{2g}. \quad (1)$$

В уравнение 1 не е включена работата, изразходвана за преодоляване силите на триенето, възникващи при движението на въздуха през компресора, тъй като тя напълно се превръща в топлина и се предава обратно на въздуха, без да нарушава в уравнението на енергетическия баланс.

Уравнение 1 показва, че пълната енергия на въздуха на входа на компресора, събрана с ефективната работа и подведената отвън топлина, е равна на пълната енергия на въздуха на изхода от компресора. $Q_{вън}$ в уравнение 1 може да има също така и отрицателно значение, което означава не предаване на топлина отвън, а загуба на топлина в окръжаващата среда през стените на компресора.

Подведената топлина отвън или загубата ѝ в окръжаващата среда, както показва опитът, може да се пренебрегнат във връзка с това, че секундният разход на въздуха през компресора на ТуРД е много голям в сравнение с външната повърхност на компресора и величината $Q_{вън}$, припадаща се на 1 *кг* въздух, се оказва незначителна. При преминаването на въздуха през компресора изменението на температурата му вследствие външния топлообмен ще бъде сравнително по-малко, отколкото повишаването температурата на въздуха през време на сгъстяването.

Ето защо външният топлообмен обикновено се пренебрегва и ако предположим, че в уравнението 1 $Q_{вън}=0$,

$$L_{г.к}=\frac{c_p}{A}(T_4-T_1)=\frac{c_4^2-c_1^2}{2g}.$$

По такъв начин ефективната работа отива за увеличение топлосъдържанието и за нарастване кинетичната енергия на въздуха, преминаващ през компресора. Скоростта на въздуха на изхода от компресора c_4 обикновено е близка към скоростта на входа c_1; чрез подбирането на съответствуващи размери на изходните тръби може да се постигне равенството $c_4=c_1$. Тогава

$$L_{г.к}=\frac{c_p}{A}(T_4-T_1), \quad (2)$$

т. е. в този случай цялата външна работа отива за увеличение топлосъдържанието на въздуха. Нарастването на температурата на

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

При откриване дефект, който прави книгата негодна за ползуване, можем да бъде върната за обменяне в държавната книжарница, от където е закупена, или на адрес:
Държавно военно издателство при МНО
София — ул. „Иван Вазов" № 12

T се нарича нагряване на въздуха в компре-

ъстяване на въздуха в компресора се съпро- При това работата, изразходвана за преодоляиенето (тъй наречените хидравлични загуби), ι на топлина.

й е прието да се свързват налягането и темпеха на входа и на изхода от компресора с уравнепата

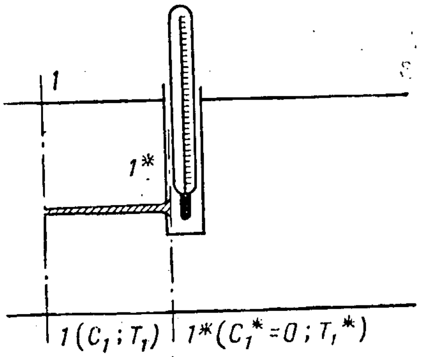
$$\frac{T_4}{T_1}=\left(\frac{p_4}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}.$$

ът (2) ще добие следния вид:

$$-T_1)=\frac{k}{k-1}R\,T_1\left(\frac{T_4}{T_1}-1\right)=\frac{k}{k-1}R\,T_1\left(\varepsilon_c^{\frac{n-1}{n}}-1\right).$$

лят на адиабатата k не означава, че процесът протича без загуби. С буквата k се изразява специфичната топлина на въздуха.

Величината на показателя на политропата n е толкова по-висок, колкото са по-големи загубите през време на сгъстяването.



Фиг. 29. Схема на измерване температурата на заприщения въздушен поток

В идеален случай при отсъствието на загуби $n=k$, т. е. процесът сгъстяване на въздуха протича адиабатично. Изразходваната в този случай ефективна работа при сгъстяването (работата на идеалния компресор при отсъствието на топлообмен с окръжаващата среда, отсъствието на хидравлични загуби и равенството между скоростта на въздуха на входа и изхода от компресора) се нарича адиабатична работа на сгъстяването:

$$L_{\text{г.к. из.}}=L_{\text{ад}}=\frac{k}{k-1}R\,T_1\left(\varepsilon_c^{\frac{k-1}{k}}-1\right).$$

Да разгледаме пример с прилагане уравнението за съхранение на енергията.

Определяме температурата, която показва екранираният термометър, поставен във въздушен поток с температура T_1 и скорост c_1 (фиг. 29). За целта отделяме в потока елементарна струйка въздух и прокарваме през нея две сечения: сечение $I—I$ на достатъчно разстояние от термометъра и сечение $I^*—I^*$ в непосредствена близост до него.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Скоростта на въздуха в сечението $1^*—1^*$ се намалява до нула ($c_1{}^*=0$). Приемаме, че няма топлообмен, т. е. че $Q_{вън}=0$. Очевидно е най-после, че през време на заприщването на въздуха работа не му се предава ($L_{е \cdot к}=0$). Тогава уравнението за съхранение на енергията (1) за разгледаната струйка между сечение $1—1$ и $1^*—1^*$ ще добие следния вид

$$\frac{c_1^2}{2g}+\frac{k}{k-1}RT_1=\frac{k}{k-1}RT_1^*. \qquad (3)$$

Оттук

$$T_1^*=T_1+\frac{c_1^2}{2g\frac{k}{k-1}R}\approx T_1+5\left(\frac{c_1}{100}\right)^2.$$

T_1^* се нарича температурата на заприщения въздушен поток, или температурата на заприщването в сечение $1^*—1^*$. При направеното предположение за отсъствието на топлообмен тази температура се явява също така температура на заприщването в сечение $1—1$. Както се вижда от уравнението за съхранение на енергията (3), температурата на заприщването определя пълната енергия на въздуха в даденото сечение.

От определението за температурата на заприщването като мярка за пълната енергия следва, че ако при движението на въздуха не се подвежда енергия отвън, температурата на заприщването остава постоянна.

Уравнение на Бернули

Второто основно уравнение, което определя връзката между параметрите на въздуха при движението му през компресора, е уравнението на Бернули.

Уравнението е наречено така в чест на Даниел Бернули, член на руската Академия на науките, който е извел това уравнение. За сгъстяването на въздуха в компресора то има следния вид:

$$L_{е \cdot к}=L_{п \cdot к}+L_{х \cdot к}+\frac{c_4^2-c_1^2}{2g}, \qquad (4)$$

където $L_{п \cdot к}$ — работа, изразходвана за сгъстяване на 1 *кг* въздух в компресора; тази работа се нарича политропична работа на сгъстяването; физическия смисъл на тази работа ние ще разгледаме по-долу;

$L_{х \cdot к}$ — работа, изразходвана за преодоляване хидравличните съпротивления (работа, изразходвана за преодоляване силите на триенето и вихрообразуването във въздушния поток).

Уравнение 4 показва, че ефективната работа, подведена към вала на колелото на компресора, се изразходва за извършване работа при сгъстяване на въздуха, за преодоляване на всички

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

хидравлични загуби и за увеличаване кинетичната енергия на въздуха.

Уравнението на Бернули е приложимо и когато има топлообмен.

Политропичната работа на сгъстяването, както е известно от термодинамиката, е равна на

$$L_{п\cdot к}=\frac{n}{n-1}R\,(T_4-T_1)=\frac{n}{n-1}R\,T_1\left(\varepsilon_к^{\frac{n-1}{n}}-1\right).$$

При $n=k$ (идеален процес на сгъстяване) политропичната работа на сгъстяването се обръща в адиабатична.

Да разгледаме пример с приложение уравнението на Бернули. Да определим налягането на заприщения поток (гледай фиг. 29), като смятаме, че процесът на заприщването става без загуба, т. е адиабатично.

Уравнение 4 за този случай ще има следния вид:

$$L_{с\cdot к}=L_{ад\cdot к}=\frac{c_1^2}{2g},$$

или

$$\frac{k}{k-1}R\,T_1\left[\left(\frac{p_1^*}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}-1\right]=\frac{c_1^2}{2g},$$

тъй като

$$L_{е\cdot к}=0 \text{ и } L_{х\cdot к}=0.$$

Оттук

$$p_1^*=p_1\left[1+\frac{c_1^2}{2g\,\frac{k}{k-1}\cdot RT_1}\right]^{\frac{k}{k-1}}.$$

Налягането на заприщения поток понякога се нарича пълно налягане на газа.

Графическо изобразяване на процеса на сгъстяване на въздуха

На фиг. 30 е изобразена диаграма на изменение състоянието на въздуха през време на сгъстяването в координатите p—v.

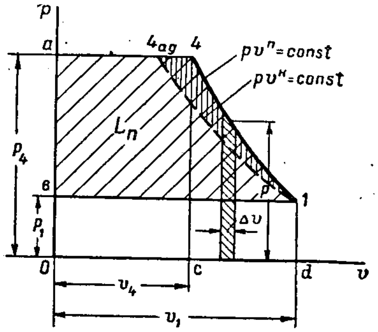
По вертикалната ос е нанесено налягането на въздуха p, а по хоризонталната — относителният обем v, т. е. обемът, заеман от 1 *кг* въздух. Точка 1 (p_1; v_1) характеризира състоянието на въздуха на входа в компресора. Политропата *1—4* показва изменението на състоянието на въздуха в действителния процес на сгъстяване в компресора, а точка *4* (p_4; v_4) характеризира състоянието на въздуха на изхода от компресора. На идеалния процес на сгъстяване съответствува адиабатата *1*—$4_{ад}$.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

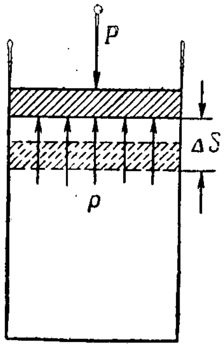
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Може да се покаже, че площта *1, 4, a, b, 1* (гледай фиг. 30), разположена вляво от кривата на действителния процес на сгъстяване, представлява от себе си в известен мащаб политропичната работа на сгъстяването.

На фиг. 31 с показано сгъстяването на 1 *кг* въздух, затворен в цилиндър с действуваща върху буталото сила P. Силата P, действуваща върху буталото, при много малко преместване на буталото е равна на произведението от налягането на въздуха p на площта на буталото F (pF), а нейната работа е работа на сгъстяване $pF\Delta S$, където ΔS е преместването на буталото, а $F\Delta S=\Delta v$ изменението на относителния обем на въздуха. Следователно елементарната работа на сгъстяването на въздуха е равна на произведението $p\Delta v$, което при сгъстяването на въздуха в компресора съответствува на елементарната площадка, разположена под кри-



Фиг. 30. Диаграма на изменение състоянието на въздуха през време на сгъстяването в координатите p—v



Фиг. 31. Сгъстяване на въздуха в цилиндър

вата на процеса на сгъстяването (гледай фиг. 30), а цялата работа на сгъстяването съответствува в известен мащаб на площта *1, 4, c, d, 1.*

Но в компресора се извършва сгъстяване на непрекъснат въздушен поток. При това освен работата за сгъстяване се налага да се извършва работа за преодоляване силите от налягането на въздуха на изхода от компресора. Може да се докаже, че тази работа за 1 *кг* въздух е равна на $p_4 v_4$ и съответствува на площта *4, a, o, c, 4.* Затова пък налягането на въздуха пред компресора извършва работа — изтласкване на въздуха през компресора, — равна на $p_1 v_1$ и изразена с площта *1, b, o, d, 1.*

По такъв начин работата за сгъстяването на въздуха в компресора е равна на работата за сгъстяване на самия въздух плюс работата за преодоляване силите на налягането на изхода от компресора $p_4 v_4$ минус работата, която извършват силите на налягането на въздуха на входа в компресора.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Тогава политропичната работа на сгъстяване се изразява с площта

$$L_{п\cdot к} = \text{площта } 1,\ 4,\ c,\ d,\ 1 + \text{площта } 4,\ a,\ o,\ c,\ 4 - \text{площта } 1,\ b,\ o,\ д,\ 1.$$

Разликата между втория и третия член на уравнението се нарича „работа на изтласкване на въздуха". Следователно политропичната работа на сгъстяването на въздуха се състои от работата на сгъстяването и работата по изтласкването на въздуха през компресора. Сумирането на площите показва, че $L_{п.к}$ = площта $1,4,\ a, b,\ 1$, т. е. площта вляво от кривата, изразяваща процеса на сгъстяването.

Подобно на това адиабатичната работа на сгъстяването — работата на сгъстяване на идеалния компресор — се изобразява с площта $1,\ 4_{ад},\ a,\ b,\ 1$.

Както се вижда от диаграмата, $L_{п\cdot к} > L_{ад.\ к}$.

По такъв начин в действителния компресор е необходимо не само да се изразходва работа за преодоляване хидравличните загуби (гледай уравнение 4), но и самата работа на сгъстяването $L_{п\cdot к}$ поради влиянието на хидравличните загуби се оказва по-голяма, отколкото в идеалния случай $L_{ад\cdot к}$. Това се обяснява с факта, че работата, изразходвана за преодоляване на хидравличните загуби в действителния процес на сгъстяване, се превръща, както вече се каза по-горе, в топлина, което води към допълнително загряване на въздуха през време на сгъстяването. Следователно температурата на въздуха във всяко сечение на компресора при наличие на хидравлични загуби е по-висока, отколкото в идеалния компресор със същата степен на сгъстяване.

Така от израза $L_{ад\cdot к}$ се вижда, че даже идеалната адиабатична работа на сгъстяването е пропорционална на началната температура T_1. С други думи, горещият въздух по-трудно се сгъстява от студения, тъй като при равни налягания относителният обем на горещия въздух е по-голям.

Увеличението на работата на сгъстяване във всеки елемент на компресора поради по-високата температура в действителния процес на сгъстяване води към увеличение на $L_{п\cdot к}$ в сравнение с $L_{ад\cdot к}$.

Ефективен и адиабатичен коефициент на полезното действие на центробежния компресор

Ефективността на центробежния компресор се характеризира от ефективния коефициент на полезното действие. Ефективен к. п. д. се нарича отношението на адиабатичната работа на сгъстяването към ефективната работа, т. е.

$$\eta_{е\cdot к} = \frac{L_{ад\cdot к}}{L_{е\cdot к}}.$$

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Ефективният к. п. д. показва каква част от работата, изразходвана за въртене на компресора, се превръща в полезна работа на сгъстяването. Той отчита всички загуби: хидравлични загуби, загуби, свързани с увеличението на политропичната работа на сгъстяването $L_{п\cdot к}$ в сравнение с идеалната $L_{ад\cdot к}$, а също така загубите, свързани с увеличението на кинетичната енергия на въздуха в компресора $\frac{c_4^2-c_1^2}{2g}$.

Обаче увеличението на кинетичната енергия на въздуха не винаги може да се смята за загуба, тъй като на изхода от компресора тази енергия може да бъде използувана за увеличение на налягането. Ето защо освен ефективния к. п. д. често се разглежда адиабатичният к. п. д., който не отчита загубите от увеличение кинетичната енергия на въздуха, преминаващ през компресора:

$$\eta_{ад\cdot к}=\frac{L_{ад\cdot к}}{L_{е\cdot к}-\frac{c_4^2-c_1^2}{2g}}=\frac{L_{ад\cdot к}}{L_{п\cdot к}+L_{х\cdot к}}.$$

Адиабатичният к. п. д. отчита само хидравличните загуби $L_{х\cdot к}$ и свързаното с тях увеличение на политропичната работа на сгъстяването $L_{п\cdot к}$ в сравнение с адиабатичната $L_{ад\cdot к}$ и характеризира по такъв начин съвършенството на хидравликата на вътрешната част на компресора. Адиабатичният к. п. д. на центробежните компресори в ТуРД достига величина 0,75÷0,8.

Ефективният к. п. д. на компресора може малко да се различава от адиабатичния в една или друга страна в зависимост от съотношението на скоростите на въздуха c_4 и c_1. Обикновено разликата между адиабатичния и ефективния к. п. д. не превишава 2÷3%. Очевидно е, че при $c_4=c_1$ $\eta_{е\cdot к}=\eta_{ад\cdot к}$.

Изучаването закономерностите на процеса на сгъстяването на въздуха и основните уравнения, характеризиращи изменението на състоянието на въздуха при неговото преминаване през компресора, позволява да се разбере работата на отделните елементи на компресора и особеностите на работата на компресора в системата на ТуРД.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Доцент, кандидат по техническите науки
инженер-подполковник А. А. ГОВОРОВ

ДВИЖЕНИЕ НА ВЪЗДУХА В ЕЛЕМЕНТИТЕ НА ЦЕНТРОБЕЖНИЯ КОМПРЕСОР НА ТуРД

Работата на центробежния компресор на ТуРД се определя от характера на протичането на въздуха в елементите на компресора: във входното устройство, колелото, дифузора и изходните тръби. Режимът на неговата работа се характеризира с числото на оборотите на колелото и разхода на въздуха.

Движение на въздуха във входното устройство на компресора

Входното устройство разпределя равномерно и направлява въздуха към колелото на компресора. Неравномерността на въздушния поток може да доведе до увеличаване загубите на входа в колелото и понижаване к. п. д. на компресора. Входното устройство трябва да има такава форма, че хидравличните загуби да са минимални, тъй като в началото на сгъстяването те особено неблагоприятно се отразяват върху к. п. д. на компресора. Ето защо най-разпространени са осевите и коленообразните входни устройства, които осигуряват малки хидравлични загуби.

Да разгледаме как въздухът влиза в каналите на компресора. На фиг. 32 е показано сечението на колелото на центробежен компресор, а на фиг. 33 е показан триъгълникът на скоростите на входа на въздуха в колелото. Лопатките на колелото са изобразени на фигурата във вид на ред профили. Те се въртят със скорост u_1, равна на окръжната скорост на колелото на радиус, съответствуващ на даденото сечение, в посока, показана със стрелка. При осево подвеждане на въздуха скоростта му c_1, наречена абсолютна скорост, ще бъде насочена по оста на въртенето на колелото.

На фиг. 32 са приведени също така обозначения на основните размери на колелото.

Да разгледаме как ще постъпи въздухът към предните ръбове на колелото при неговото въртене. За целта построяваме триъгълника на скоростите на въздуха на входа в колелото (гледай фиг. 33).

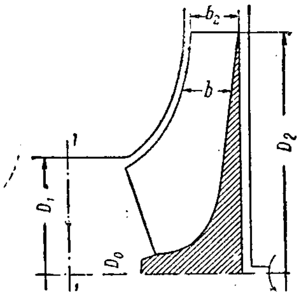
Съгласно правилата на теоретичната механика относителната скорост на въздуха при входа на лопатките на колелото w_1 ще бъде равна на геометрическата разлика от абсолютната скорост на въздуха и окръжната скорост на колелото $\bar{w}_1 = \bar{c}_1 - \bar{u}_1$.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

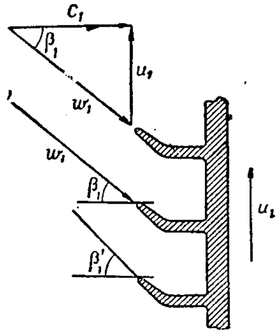
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

За потвърждаване верността на това равенство мислено спираме колелото, а за да не се измени картината на течението на въздуха относно ръбовете на колелото, към абсолютната скорост на въздуха ще прибавим скорост, равна на окръжната скорост на колелото, но насочена обратно на движението му. По такъв начин относителната скорост на въздуха на входа в колелото геометрически се състои от абсолютната скорост и от скорост, равна по величина на окръжната, но противоположна по посока $\bar{w}_1 = \bar{c}_1 + (-u_1)$. А това е равносилно на по-предното равенство.

Както се вижда от фиг. 33, относителната скорост на въздуха е насочена под известен ъгъл β_1 към оста на въртенето на колелото. За да се избягнат ударните загуби при входа в колелото, предните краища на лопатките се изкривяват приблизително до съвпадането на тяхната посока с посоката на относителната скорост на въздуха w_1 ($\beta'_1 \approx \beta_1$). Огънатите предни краища на лопатките образуват така наречения подвижен (въртящ се) направляващ апарат. Често пъти за облекчаване производството на работното колело подвижният направляващ апарат се изработва отделно и се съединява след това с колелото.



Фиг. 32. Разрез на колелото на центробежен компресор:
D_0 — диаметър на втулката на колелото; D_1 — външен диаметър на входа на колелото; D_2 — диаметър на колелото на изхода; $в$ — широчина на канала на колелото на произволен радиус; $в_2$ — широчина на колелото на изхода



Фиг. 33. Триъгълник на скоростите на въздуха при входа в колелото на центробежен компресор

Тъй като окръжната скорост съставлява една от страните на триъгълника на скоростите и се изменя с изменение на радиуса, то и ъглите на изкривяването на предните краища на лопатките се налага да се правят променливи по радиуса. С увеличение на радиуса растат окръжната скорост на колелото и ъгълът β_1 (гледай фиг. 33). Затова и изкривяването на предните краища на лопатките се увеличава (от втулката към периферията на входните сечения). Трябва да се отбележи, че относителната скорост на въздуха на входа в колелото се изменя по радиуса не само по посока, но и по величина, достигайки максималното си значение

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

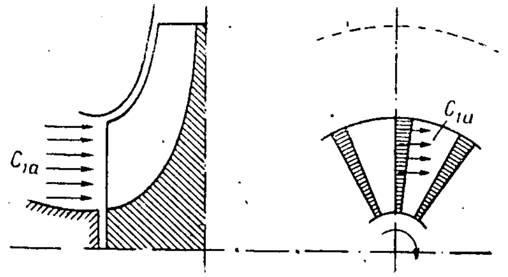
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

на периферията на входното сечение на диаметър $Д_1$. При съществуващите окръжни скорости на колелото относителната скорост на въздуха на периферията $w_{1макс}$ става по-голяма от скоростта на звука.

За избягване на вълнови съпротивления на входа в колелото целесъобразно е да се ограничава величината на относителната скорост на входа така, че $w_{1макс}$ да не превишава скоростта на звука на входа в колелото

$$M_{1макс} = \frac{w_{1макс}}{a_1} \approx 0,85 \div 0,9.$$

Тук $M_{1макс}$ (числото M на периферията на входа в колелото) е отношението на скоростта на въздуха $w_{1\,макс}$ към скоростта на звука.



Фиг. 34. Съставни на абсолютната скорост на въздуха при входа в колело със завъртване

За намаляване относителната скорост пред колелото понякога поставят неподвижен направляващ апарат, който завъртва въздуха по посока въртенето на колелото. При това пред входа в колелото на компресора завъртеният в неподвижния направляващ апарат въздух се движи вихрообразно, имайки съставни скорости c_{1a} по посока на оста на колелото и c_{1u} по посока на въртенето на колелото (фиг. 34). Триъгълникът на скоростите за този случай е показан на фиг. 35, където с пунктир е означена относителната скорост w'_1 (когато няма завъртване).

Практически въздухът се завъртва така, че ъгълът α_1, заключен между посоката на абсолютната скорост на въздуха при входа и оста на въртенето на колелото, да бъде 18—20°. При това величината на съставната абсолютна скорост на въздуха по посока на въртенето на колелото c_{1u} е обикновено 40—50 *м/сек.* Тази съставна често се нарича завъртване на потока. По-нататъшното увеличаване на завъртването оказва неблагоприятно влияние на степента на сгъстяване на компресора.

На фиг. 36 е представена схема на центробежен компресор с неподвижен направляващ апарат, който завъртва въздуха по посока на въртенето на колелото. Колелото на компресора има двустранен вход, благодарение на което се увеличава производител-

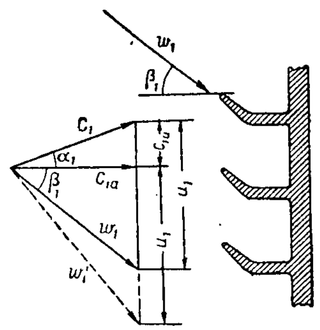
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

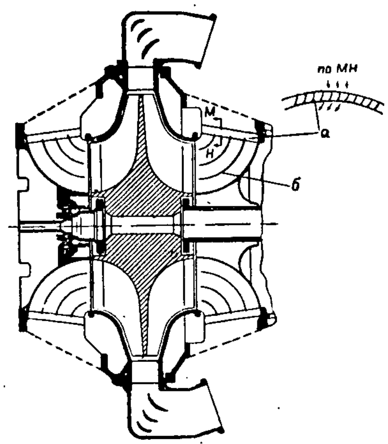
ността му при запазване на радиалните размери на компресора, което е особено важно за авиационния двигател.

Въздухът, влизайки в компресора, преминава през лопатките на неподвижния направляващ апарат *а*, които са монтирани по цилиндричната повърхност на пръстеновидния вход. Външните краища на лопатките са насочени радиално, а вътрешните — изкривени по посока на въртенето на колелото. С това се осигурява завъртване на въздуха, преминаващ през неподвижния направляващ апарат.

Във входните канали са поставени концентрични направляващи пръстени *б*, разделящи въздушния поток на отделни участъци. Тези пръстени осигуряват равномерното запълване с въздух на входното сечение на колелото.



Фиг. 35. Триъгълник на скоростите при входа на въздуха в колелото при наличие на завъртване



Фиг. 36. Схема на центробежен компресор с двустранен вход:
а — лопатки на направляващия апарат;
б — направляващи пръстени

При работа на компресора на място скоростта на въздуха във входното устройство се увеличава от нула до c_1, поради което температурата и налягането на въздуха падат и на входа в колелото (в сечение *1—1*, гледай фиг. 32) температурата и налягането са по-малки от атмосферните.

При скорости на полета c_0, превишаващи скоростта на въздуха на входа в колелото c_1, вследствие сгъстяването от скоростния напор температурата и налягането на въздуха на входа в колелото са по-големи от атмосферните.

При това трябва да се отбележи, че самото сгъстяване (намаляването скоростта на въздуха, нарастването на температурата и налягането) става в струята пред входа, тъй като самият вход обикновено има вид на сопло с намаляваща се по дължината площ, и на входа въздухът винаги малко се разширява.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

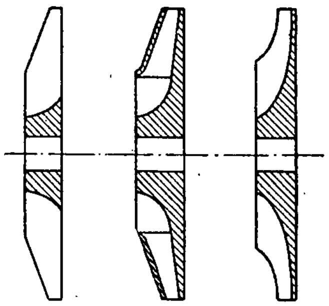
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Протичане на въздуха в колелото

Колелото е основният работен елемент на центробежния компресор. В колелото на въздуха се придава работа, за сметка на което нарастват неговото налягане и скорост. Едновременно с това се увеличава и температурата на въздуха.

Колелата се подразделят на три типа: открити, закрити и полузакрити. На фиг. 37 са показани колела от различни типове. Откритото колело *а* се състои от втулка и прави радиални лопатки. Каналът между лопатките откъм челната страна се ограничава от стените на корпуса на компресора. При движение на въздуха в колелата от открит тип хидравличните загуби са твърде големи, ето защо сега такива колела не се употребяват.

Закритото колело *б* се състои от ред лопатки, ограничени от двете страни със задна и предна стена. Последната има отверстия за входа на въздуха. Колелата от закрит тип са сложни в своето производство. Недостатъкът на тези колела се състои в това, че при тяхната употреба трудно се достигат големи окръжни скорости. Компресорите със закрити колела дават минимални хидравлични загуби и имат по-висок к. п. д. Широко разпространение в авиацията са получили колелата от полузакрит тип *в*, които се състоят от една челна стена с фрезовани на нея лопатки. Колелата от полузакрит тип са прости за производство и притежават достатъчна якост и коравина. По отношение на хидравличните загуби те заемат междинно място между откритите и закритите колела.



Фиг. 37. Различни типове колела на центробежен компресор:
а — открито; *б* — закрито; *в* — полузакрито

По формата на лопатките различаваме колела с радиални лопатки, с лопатки, изкривени по посоката на въртенето (напред), и лопатки, изкривени срещу посоката на въртенето (назад). В авиационните компресори засега се използуват главно радиални лопатки.

Използуването на лопатки, изкривени по посока на въртенето, позволява да се увеличи степента на сгъстяване на компресора, тъй като при равни окръжни скорости колелата с изкривени напред лопатки придават на въздуха по-голяма работа.

Да разгледаме как се движи въздухът в междулопатъчния канал на колелото.

Въздухът, попаднал в каналите, се върти заедно с колелото и под действието на центробежните сили се изхвърля към периферията на колелото. Налягането на въздуха при това расте за сметка на сгъстяването му от центробежните сили. Вследствие уве-

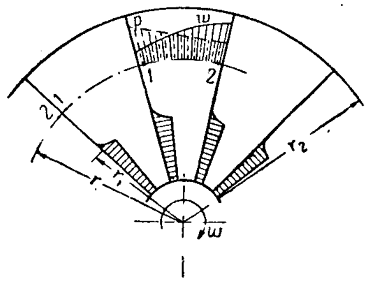
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

личението на относителната скорост (окръжната скорост на колелото) расте и абсолютната скорост на въздуха. Едновременното повишаване на налягането и скоростта на въздуха не противоречи на уравнението на Бернули, тъй като тук на въздуха в колелото се придава енергия отвън.

Движението на въздуха в колелото се състои от преносното въртеливо движение на колелото и от относителното движение по каналите му. Относителната скорост на въздуха в канала на колелото на един и същ радиус е различна по широчината на канала.

За да си представим характера на относителното движение на въздуха в каналите между лопатките на колелото, нека разгледаме фиг. 38. Ние вече казахме, че относителните скорости в едно и също сечение на канала, например на радиус r, са различни. В действителност при въртенето на колелото възниква съпротивителен момент на въртенето, равен на въртящия момент, предаван отвън. Очевидно е, че съпротивителният момент възниква в резултат на разликите на налягането на въздуха от двете страни на лопатката. Налягането от предната страна на лопатката е по-голямо, отколкото от задната. Например на фиг. 38 налягането p_1 в точка *1* е по-голямо от налягането p_2 в точка *2*, разположена от другата страна на лопатката на същия радиус:



Фиг. 38. Епюри на налягания та на относителната скорост по широчината на канала на колелото на центробежния компресор

$$p_1 > p_2.$$

Но тогава на основание уравнението на Бернули, съставено за въздушен поток в относително движение, следва, че скоростта на въздуха w_1 в точка *1* е по-малка от скоростта w_2 в точка *2*.

На фиг. 38 са показани примерни епюри на разпределение налягането и скоростите по широчината на канала между лопатките на радиус r.

Неравномерността на относителната скорост на въздуха по широчината на канала на колелото се отразява и върху посоката на въздуха на изхода от колелото. На фиг. 39 е изобразен триъгълникът на скоростите на въздуха на изхода от колелото. Абсолютната скорост на въздуха на изхода от колелото е равна на геометричната сума от относителната w_2 и преносната — окръжната скорост на колелото u_2.

Преносната скорост u_2 е насочена по допирателната към окръжността на колелото. Що се отнася до относителната скорост w_2, то вследствие неравномерното разпределение на потока в колелото,

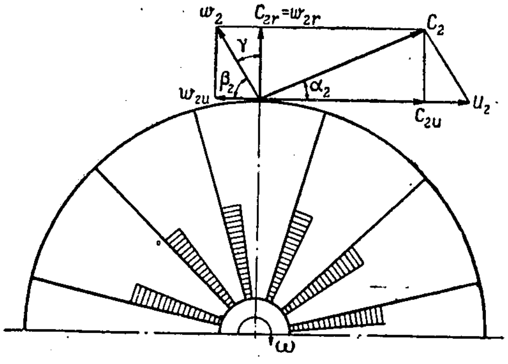
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

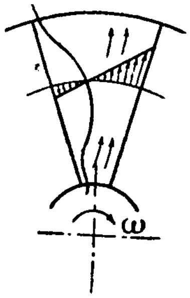
предизвикано от инертността на въздуха, тя е отклонена от радиалната посока под известен ъгъл γ в страна, обратна на въртенето. Тогава съставните на абсолютната скорост на изхода от колелото по две взаимно перпендикулярни посоки — радиална и допирателна към окръжността, се оказват равни, т. е.

$$c_{2r}=w_{2r}, \quad c_{2u}=u_2-w_{2u}.$$

Отношението $\frac{c_{2u}}{u_2}=\mu$ се нарича коефициент на мощността.



Фиг. 39. Триъгълник на скоростите на въздуха на изхода от колелото



Фиг. 40. Обратно протичане на въздуха в колелото (към центъра на колелото)

Ще отбележим, че неравномерността на потока в колелото е толкова по-голяма, колкото е по-голяма ъгловата скорост на колелото, а средното значение на скоростта на въздуха в канала е толкова по-голямо, колкото е по-голям разходът на въздуха. Ето защо при малък разход на въздуха и голямо число на оборотите е възможен случай, когато на предната страна на лопатката възниква течение на въздуха към центъра на колелото (фиг. 40). Такова протичане на въздуха довежда до образуването на вихрообразни зони в каналите и до рязко увеличение на хидравличните загуби. Вихровите зони в каналите на колелото понякога възникват на неразчетни режими на работа на приводните центробежни сгъстители. В колелата на компресорите на ТуРД, които имат голям брой лопатки, такова явление не се наблюдава. Академик Б. С. Стечкин доказа, че за предотвратяване обратните протичания при разчета на компресора трябва да се избере величината на „разходната“ (определена от разхода на въздуха) съставна на скоростта на изхода от колелото в границите:

$$c_{2r}\approx c_{1a}=(0{,}25\div 0{,}32)\ u_2.$$

Да определим каква мощност се придава на въздуха от колелото на центробежния компресор. Работата $L_{е.к}$, придадена на 1 *кг* въздух, се определя от уравнението, наречено в чест на Леонард

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Ойлер — академик от руската Академия на науките, който е извел това уравнение:

$$L_{г.к}=\frac{c_{2u}u_2-c_{1u}u_{ср}}{g}+L_{x}д, \qquad (5)$$

където c_{2u} — окръжна съставна на скоростта на въздуха при изхода от колелото;

u_2 — окръжна скорост на колелото при изхода;

c_{1u} — завъртване на въздуха на входа в колелото;

$u_{ср}$ — окръжна скорост на колелото на входа на някакъв среден радиус;

$L_{х\,д}$ — работа, изразходвана за преодоляване триенето на въртящото се колело във въздуха, намиращ се в осевата междина между колелото и стените на корпуса на компресора. Тази работа се нарича работа на триенето на диска.

Очевидно е, че мощността, необходима за превъртване на компресора, е равна на

$$N_к=\frac{GL_{г.к}}{75}.$$

От уравнение 5 се вижда защо при увеличение на завъртването на въздуха на входа в колелото се получава намаляване на степента на сгъстяване на въздуха в компресора. При увеличаване на завъртването (увеличаване на c_{1u}) се намалява работата, придавана на въздуха в компресора, а това довежда до намаляване степента на сгъстяването.

Работата на триенето на диска се изразява обикновено чрез окръжната скорост на колелото

$$L_{х.д}=\alpha\frac{u_2^2}{g},$$

където α е коефициентът на триенето на диска. За компресорите на ТуРД коефициентът α при разчетен режим е равен на 0,03—0,05.

Да заменим в уравнението на Ойлер c_{2u} с μu_2. Тогава, отчитайки работата на триенето на диска, уравнение 5 ще получи следния вид:

$$L_{г.к}=\frac{\mu u_2^2-c_{1u}u_{ср}}{g}+\alpha\frac{u_2^2}{g}. \qquad (6)$$

При осево подвеждане на въздуха в колелото (когато няма предварително завъртване) $c_{1u}=0$. Тогава

$$L_{г.к}=(\mu+\alpha)\frac{u_2^2}{g}. \qquad (7)$$

Коефициентът μ, наричан коефициент на мощността или коефициент на намаление на енергията, придадена на въздуха в колелото, зависи, както показват теоретическите изследвания и опи-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

тите, главно от броя и дължината на лопатките на колелото. Това съответствува на физическата същност на коефициента μ, който съществува вследствие инертността на въздуха, протичащ по каналите между лопатките на колелото. С увеличаване броя и дължината на лопатките се намалява отклонението на относителната скорост на въздуха на изхода от колелото от радиалната посока вследствие инертността и коефициентът μ нараства. Обратно, при малък брой и малка дължина на лопатките неравномерността на потока в канала на колелото се усилва и коефициентът μ намалява.

На теоретическото и експерименталното изследване на коефициента μ са посветени много трудове. За центробежните компресори на ТуРД коефициентът μ се движи в границите 0,85—0,92.

Ще отбележим, че коефициентът μ е величина конструктивна и не зависи от режима на работа на компресора, а коефициентът α е малък, поради което може с голяма точност да смятаме, че работата $L_{с.к}$, придадена на въздуха в компресора, зависи само от оборотите (от окръжната скорост на компресора) и не зависи от условията на полета (височината и скоростта) и от атмосферните условия.

При движението на въздуха през компресора между сечения *1—1* и *2—2* (гледай фиг. 26) възникват хидравлични загуби, които можем да разделим на загуби при входа на колелото, загуби при преминаването на въздуха през колелото и загуби при триенето на диска. При работата на компресора на разчетен режим загубите при входа в колелото са сравнително малки. На неразчетен режим те бързо се увеличават поради несъвпадането посоката на въздушния поток на входа с посоката на предните ръбове на колелото (тъй наречените ударни загуби). Загубите при движението на въздуха в колелото се предизвикват от триенето на въздуха в лопатките и диска на колелото, от изменението посоката на потока в колелото и от дифузорността на канала на колелото, т. е. от намаляване относителната скорост на въздуха в каналите на колелото. Загубите от триенето на диска $L_{т.д}$ разгледахме по-горе.

Въздухът излиза от колелото с абсолютна скорост c_2 (гледай фиг. 39), която обикновено е 92÷97% от окръжната скорост на колелото u_2. В това можем лесно да се уверим от съотношението

$$c_2 = \sqrt{c_{2u}^2 + c_{2r}^2},$$

където

$$c_{2u} = \mu\, u_1 = (0{,}85 - 0{,}92)\, u_2,$$

$$c_{2r} \approx c_{1u} = (0{,}25 - 0{,}32)\, u_2.$$

Ъгълът α_2 между посоката на скоростта c_2 и допирателната към окръжността в дадена точка за съвременните компресори е равен на 14—16°.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

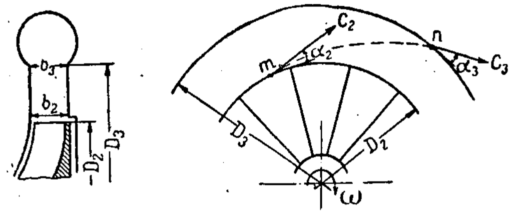
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Протичане на въздуха в дифузора

Въздухът излиза от колелото на компресора със скорост, близка до окръжната скорост на колелото, и се отправя в дифузора, който служи за преобразуване кинетичната енергия на въздуха в работа на сгъстяване. Движението на въздуха в дифузора е подобно на движението в разширяващ се канал: скоростта се намалява, а налягането се увеличава. Дифузорите се подразделят на два типа: радиално-пръстеновидни и лопатъчни.

На фиг. 41 е показана схема на компресор с радиално-пръстеновиден дифузор.

Той представлява пръстеновидна кухина с успоредни или малко стесняващи се стени.



Фиг. 41. Схема на движението на частиците на въздуха в компресор с пръстеновиден дифузор:

D_2 — вътрешен диаметър на дифузора D_3 — външен диаметър на дифузора; b_2 — широчина на дифузора при входа; b_3 — широчина на дифузора при изхода

Теоретическите разчети и опитните данни показват, че частиците на въздуха в радиално-пръстеновидния дифузор се движат по траектории, близки до логаритмически спирали ($m—n$). При това скоростта на въздуха се намалява обратно пропорционално на диаметъра, така че скоростта на изхода от дифузора $c_3=c_2\frac{D_2}{D_3}$, а ъгълът на изхода на въздушния поток от дифузора (ъгълът α_3 между посоката на скоростта c_3 на изхода от дифузора и допирателната към окръжността в дадена точка) е равен на ъгъла на изхода на въздуха от колелото α_2 ($\alpha_3=\alpha_2$). Тъй като диаметърът D_3 в авиационните компресори се ограничава с цел да се намалят размерите, то в радиално-пръстеновидния дифузор не може да се намали скоростта на въздушния поток до необходимата величина. Освен това при движението на въздуха в радиално-пръстеновидния дифузор загубите от триенето на въздуха в стените поради дългия път на въздуха в дифузора са доста големи. Затова съвременните центробежни компресори имат обикновено лопатъчни дифузори.

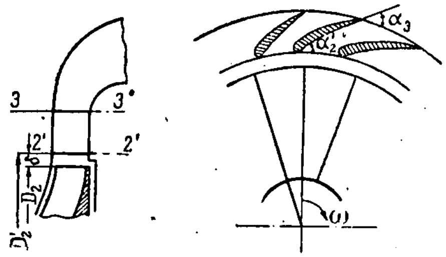
На фиг. 42 е показан лопатъчен дифузор на центробежен компресор. Дифузорът представлява ред огънати лопатки, по-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ставени на равни разстояния по окръжността. При това между лопатките се образуват криволинейни канали, разширяващи се по посока на движението на въздуха. Ъгълът α_3 е по-голям от ъгъла α'_2, поради което степента на уширението (увеличението площта на проходното сечение) на лопатъчния дифузор при еднакви външни и вътрешни диаметри е по-голяма, отколкото в радиално-пръстеновидния дифузор. Освен това поставянето на лопатките съкращава пътя на движението на въздуха през дифузора, което довежда до увеличение на коефициента на полезното му действие.

Вътрешният (началният) диаметър на лопатъчния дифузор D'_2 почти винаги е малко по-голям от диаметъра на колелото, така че въздухът на изхода от колелото отначало се движи по късия радиално-пръстеновиден канален дифузор, а след това попада в лопатъчната част. В пръстеновидната част на дифузора скоростта на въздушния поток малко се намалява, благодарение на което се понижават вълновите съпротивления при входа на въздуха в лопатките на дифузора. В радиално-пръстеновидната част на дифу-



Фиг. 42. Схема на лопатъчен дифузор на центробежен компресор

зора става също така известно изравняване на въздушния поток, който на изхода от колелото има твърде неравномерна характеристика. Това също така влияе благоприятно върху работата на лопатъчния дифузор.

Ширината на радиално-пръстеновидния дифузор в съвременните компресори се колебае в границите $\delta = 12 \div 30$ *мм*, а числото на лопатките в дифузора е от 14 до 36. За избягване усилването на пулсациите на въздушния поток в дифузора числото на лопатките му не трябва да бъде кратно на числото на лопатките на колелото.

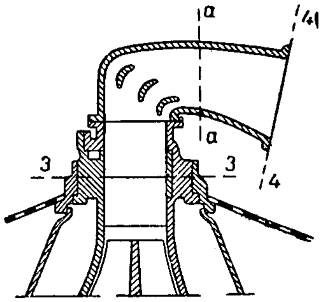
В центробежните компресори на въздушно-реактивните двигатели въздухът от каналите на лопатъчния дифузор постъпва обикновено непосредствено в изходните тръби (колената), числото на които е кратно на числото на лопатките на дифузора (*2* или *3* пъти по-малко). Лопатките на дифузора, разделящи изходния отвор от дифузора, са закрепени към стените на тръбите и се различават по своята форма от другите лопатки.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Протичане на въздуха през изходните тръби

Въздухът от дифузора постъпва в изходните тръби (фиг. 43). Назначението на изходните тръби е да съберат и да дадат направление на излизащия от дифузора въздух към потребителя — в нагнетателните тръби на буталния авиационен двигател или към горивните камери на въздушно-реактивния двигател. Освен това в изходните тръби продължава повишаването на налягането на въздуха за сметка на намаляването на скоростта, тъй като скоростта на въздуха на изхода от дифузора обикновено превишава скоростта на изхода от компресора в сечение *4—4*.



Фиг. 43. Изходна тръба на центробежен компресор

Изходните тръби на сгъстителите на буталните двигатели имат охлювидна форма. В центробежните компресори на въздушно-реактивните двигатели въздухът от каналите на лопатъчния дифузор постъпва непосредствено в изходните тръби. Тръбите изменят посоката на въздушния поток на 90° и го подвеждат към горивните камери. Освен това в изходните тръби става по-нататъшно намаляване скоростта на въздуха. За намаляване на хидравличните загуби понякога в мястото на изменение посоката на потока (в коляното) поставят лопатки, а разширението на изходната тръба завършва преди коляното. Обаче, за да се намалят размерите на компресора, често пъти се налага изменението посоката на въздушния поток да става веднага след излизането на въздуха от лопатъчния дифузор. В този случай на участъка на завиването на посоката от сечение *3—3* до сечение *a—a* (гледай фиг. 43) площта на сечението остава постоянна или даже малко се намалява; намаляването на скоростта до изходната c_4 се осъществява на участъка на тръбата *a—4*, наречен изходен дифузор.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Доцент, кандидат по техническите науки
инженер-подполковник Р. М. ФЕДОРОВ

УСТРОЙСТВО И РАБОТА НА ОСЕВИЯ КОМПРЕСОР

В съвременните турбо-реактивни двигатели наред с центробежните компресори широко разпространение получиха и осевите. Приложението на осевите компресори в ТуРД се обяснява с редица техни преимущества. Коефициентът на полезното действие на осевите компресори е по-висок от к. п. д. на центробежните. Те могат да пропускат през себе си два до три пъти повече въздух при равни челни размери. В осевите компресори степента на сгъстяването на въздуха може да бъде значително по-висока, отколкото в едностепенните центробежни компресори.

Съвременната теория на осевите компресори е създадена от съветските учени и преди всичко от Н. Е. Жуковски, К. А. Ушаков и Б. С. Стечкин.

Схема и принцип на действие на степен от осевия компресор

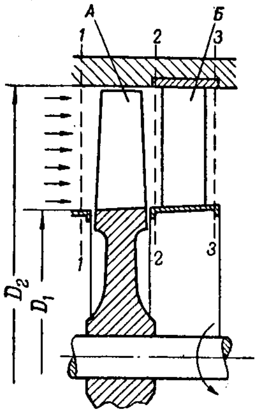
Съвременният осев компресор на въздушно-реактивния двигател има обикновено от 6 до 15 степени.

Процесът на сгъстяването на въздуха в многостепенния компресор се състои от редица последователни процеси на сгъстяване в отделните степени и затова за уяснението принципа на действие на компресора е достатъчно да се разгледа работата на една степен. Схема на степен от осев компресор е изобразена на фиг. 44. Нейни основни елементи са работното колело *А* и изправящият апарат *Б*. Обикновено лопатките на изправящия апарат се разполагат след работното колело и служат за изправянето на въздушния поток, завъртян от работното колело. Но в някои случаи, описани по-долу, неподвижни лопатки се поставят също така и пред работното колело и се използуват за създаването на предварително завъртване на въздуха, постъпващ в колелото. В тези случаи те се наричат направляващ апарат. По-нататък приемаме сечението на канала на степента пред работното колело да се обозначава с цифрите *1—1*, сечението зад работното колело с *2—2* и сечението зад изправящия апарат с *3—3*. Освен това ще различаваме вътрешен диаметър на работното колело (диаметър на втулката) D_1 и външен диаметър D_2.

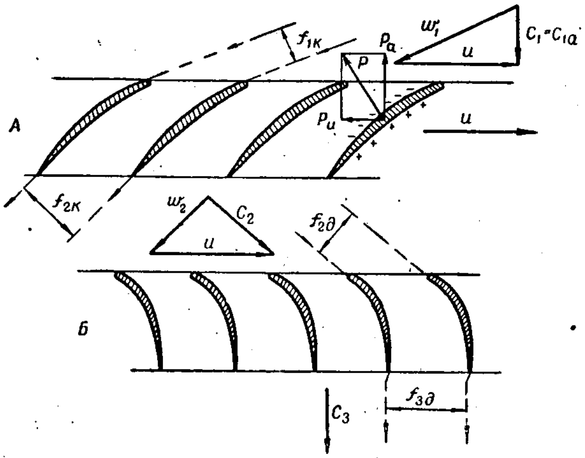
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Отношението $\nu=\frac{D_1}{D_2}$ се нарича относителен диаметър на втулката на степента. За осевия компресор на ВРД е характерна сравнително малката височина на лопатките и следователно високите значения на ν (около $0{,}65 \div 0{,}75$ за средните степени). Това се дължи на обстоятелството, че намаляването на ν довежда обикновено до намаляване окръжната скорост на втулката на колелото и заедно с това до намаляване на налягането, създавано от степента. Обаче на първите степени за увеличаване на разхода на въздух през двигателя обикновено се употребяват значително по-дълги лопатки. При това относителният диаметър на втулката се намалява до $0{,}6 \div 0{,}5$ и даже повече. Лопатките на всяка следваща степен имат по-малка височина, отколкото предишните, в съответствие с нарастване плътността на въздуха в зависимост от сгъстяването му в отделните степени.



Фиг. 44. Схема на степен на осев компресор:
А — работно колело;
Б — изправящ апарат



Фиг. 45. Триъгълници на скоростите на въздуха в степента при осево подвеждане на въздуха:
А — работно колело; *Б* — изправящ апарат

Да разгледаме движението на въздуха през степента. За целта по средата на височината на лопатките мислено правим цилиндрично сечение и го развръщаме на плоскост (фиг. 45).

Ще обозначим абсолютната скорост на въздуха при входа на работното колело с c_1. Нейната проекция върху осевото направление — осевата съставна c_{1a} — определя разхода на въздух през степента.

В първата степен, която пропуска най-голям обем въздух, при максимални обороти на двигателя c_{1a} достига до 160—180 *м/сек* и повече. С придвижване на въздуха в компресора осевата съставна на скоростта се намалява и в последната степен тя достига 100 —

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

—140 *м/сек*. Това се обяснява с обстоятелството, че разположената зад компресора горивна камера може да работи устойчиво само при сравнително малки скорости на въздуха. Освен това намаляването на c_{1a} позволява да се избегне поставянето на много къси лопатки на последните степени.

Да разгледаме работата на степента при осево подвеждане на въздуха, когато посоката на абсолютната скорост на въздуха пред колелото е успоредна на оста на въртенето на колелото (както е показано на фиг. 45) и $c_1 = c_{1a}$.

Вследствие въртенето на лопатките на работното колело скоростта на въздуха относно тези лопатки w_1 не съвпада с абсолютната скорост c_1 и се определя по правилото за събиране на скоростите като геометрическа разлика между абсолютната скорост c_1 и окръжната скорост на въртенето на колелото u. Величината на относителната скорост w_1 на средния радиус обикновено не превишава 0,7—0,8 от скоростта на звука пред колелото.

Обтичайки изкривените лопатки на работното колело, образуващи тъй наречената решетка от профили, въздухът изменя своята посока и излиза от колелото с относителна скорост w_2. Завъртването на въздушния поток при относителното му движение през колелото, което се вижда от фиг. 45, води до намаляване скоростта w_2 в сравнение с w_1, тъй като то се съпровожда с увеличаване на напречното сечение на всяка струйка въздух, преминаващ през канала между две съседни лопатки ($f_{2к} > f_{1к}$). Вследствие намаляването на относителната скорост налягането на въздуха в работното колело нараства.

В същото време при завъртването на въздушния поток в работното колело на вдлъбнатата повърхност на лопатката, обърната срещу потока, възниква повишено налягане, а на задната — разреждане, както е показано условно на фиг. 45 със знаците + и —. В резултат на това върху всяка лопатка възниква разлика в налягането, което води до появяването на аеродинамична сила P, която може да се разложи на съставна P_a, насочена по оста на въртенето на колелото, и съставна P_u, насочена перпендикулярно на нея. Силата P_a се нарича осева съставна и се възприема от упорния лагер на компресора. Силата P_u действува обратно на въртенето на колелото и за нейното преодоляване при въртенето на колелото ежесекундно се изразходва работа, равна на произведението на тази сила и окръжната скорост $P_u u$ *[кгм/сек]*.

Величината на силата P_u може да бъде определена по разпределението на силата на налягането (и триенето) върху повърхностите на лопатките на работното колело. На практика определянето на P_u обикновено се извършва много просто, а именно по изменението на окръжната съставна скорост на въздуха в колелото. Въз основа на известната теорема от механиката за изменение на количеството движение величината на тази сила е равна на секундното изменение на количеството движение (по посока на въртенето на колелото) на преминаващия през колелото въздух:

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

$$P_u = m_{сек}\,\Delta w_u,$$

където $m_{сек}$ — маса на въздуха, преминаващ през колелото на компресора за една секунда;

$\Delta w_u = w_{1u} - w_{2u}$ — изменение на окръжната съставна скорост на въздуха в колелото, при което w_{1u} и w_{2u} са проекции на скоростите w_1 и w_2 върху посоката на въртенето на колелото (хоризонталните проекции, гледай фиг. 45 и 46).

Оттук следва, че работата, изразходвана при въртенето на колелото на степента за преодоляване на силата P_u, е

$$m_{сек}\, u\, \Delta w_u \ [кгм/сек],$$

или, пресметнато за 1 *кг* въздух,

$$L_{е.\,ст} = \frac{1}{g}\, u\, \Delta w_u \ [кгм/кг], \qquad (8)$$

тъй като масата на 1 *кг* въздух е равна на $\frac{1}{g}$, където $g = 9{,}81$ *м/сек*² е земното ускорение.

При по-точно разглеждане трябва да смятаме, че работата, изразходвана на вала на степента, ще бъде малко по-голяма, тъй като формула 8 не отчита триенето на диска на степента във въздуха. Но обикновено работата на триенето на диска в осевия компресор се оказва толкова незначителна, че може да се пренебрегне.

Работата $L_{е.ст}$ се придава от колелото на компресора на въздуха и отива за увеличаване на енергията му. В резултат на това не само налягането, но и абсолютната скорост на въздуха зад колелото става по-голяма, отколкото пред колелото (гледай фиг. 45). Величината на скоростта c_2 се определя като геометрическа сума от относителната скорост w_2 и окръжната скорост на колелото u. Вследствие завъртването на потока в колелото c_2 се отклонява в посока на въртенето на колелото (въздухът в работното колело получава завъртване). С тази скорост въздухът постъпва в лопатките на изправящия апарат на степента, които отклоняват потока в обратна страна. Абсолютната скорост на въздуха на изхода от изправящия апарат c_3 е насочена успоредно на оста на въртенето на колелото и вследствие увеличаването плътността на въздуха в степента ще бъде по-малка от c_1. Но разликата между c_3 и c_1 обикновено не е голяма, тъй като увеличението плътността на въздуха във всяка степен значително се компенсира от намаляването височината на лопатките.

Завъртването на въздушния поток в изправящия апарат довежда до увеличаване напречното сечение на въздушната струя, преминаваща през каналите на съседните лопатки ($f_{3a} > f_{2a}$). Следователно абсолютната скорост на въздуха в изправящия апарат ще пада, а налягането ще се увеличава.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

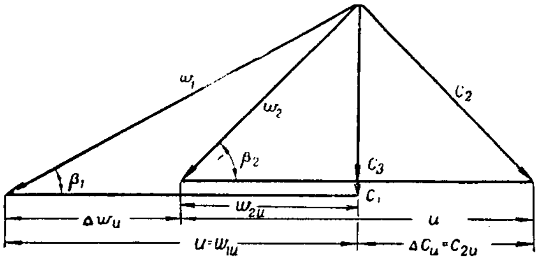
По такъв начин протичането на въздуха през работното колело и изправящия апарат на степента може да се разглежда като поток през система от криволинейни дифузори и трябва да се съпровожда от намаляване на относителната скорост на въздуха в работното колело, от намаляване абсолютната скорост в изправящия апарат и от увеличаване налягането в двата случая.

Следователно в сгъстяването на въздуха вземат участие както работното колело, така и изправящият апарат на степента. Обаче разпределението на работата за сгъстяване на въздуха между колелото и изправящия апарат (дифузора) може да бъде различно в зависимост от схемата на степента. Разпределението на работата за сгъстяване на въздуха между елементите на степента е прието да се оценява с помощта на тъй наречената „степен на реактивност", равна на отношението на адиабатичната работа на сгъстяването на въздуха в работното колело към адиабатичната работа на цялата степен. В разгледаната схема с осево подвеждане на въздуха около 75% от всичката работа на сгъстяването обикновено се извършва в работното колело и само около 25% в дифузора, т. е. степента на реактивност на степента е равна $\approx 0{,}75$.

Възможни са схеми на степен с друго разпределение на работата на сгъстяване между елементите ѝ.

Основни параметри на степента на осевия компресор

Обикновено триъгълниците на скоростите в сечението пред работното колело и пред изправящия апарат ги сместват в един чертеж, който се нарича триъгълник на скоростите на степента. На фиг. 46 е показан триъгълник на скоростите за разгледаната от нас схема на степен с осево подвеждане на въздуха.



Фиг. 46. Триъгълник на скоростите на степен с осево подвеждане на въздуха

Една от основните величини, определящи степента на сгъстяването на въздуха в степента, е окръжната скорост u на колелото. В авиационните компресори окръжната скорост на външния диаметър на колелото достига до 300÷350 *м/сек* и повече (указаните значения на u, както и другите цифрови величини, приведени в

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

този раздел, се отнасят към максималния режим на работа на двигателя).

Изменението посоката на скоростта на въздуха в работното колело предизвиква, както се вижда от фиг. 46, изменение на окръжната съставна на относителната скорост на въздуха в работното колело $\Delta w_u = w_{1u} - w_{2u}$ и равното му изменение на окръжната съставна на абсолютната скорост $\Delta c_u = c_{2u}$. Величината $\Delta w_u = \Delta c_u$ се нарича завъртване на въздуха в работното колело, а нейното отношение към окръжната скорост на колелото

$$\mu = \frac{\Delta w_u}{u} = \frac{\Delta c_u}{u}$$

се нарича коефициент на завъртването.

Коефициентът на завъртването в значителна степен определя мощността (работата), която поглъща една степен на компресора. Мощността, необходима за въртенето на колелото на степента, както и при центробежния компресор, се определя от произведението на разходвания въздух G и ефективната работа, изразходвана за въртене на колелото $L_{е.ст}$:

$$N_{ст} = \frac{G L_{е.ст}}{75} \, [к.с.]. \tag{9}$$

При това величината $L_{е.ст}$ може да бъде определена по формулата

$$L_{е.ст} = \frac{u \Delta w_u}{g} = \frac{u \Delta c_u}{g}.$$

От формулата се вижда, че работата, изразходвана за въртене на колелото на степента, е пропорционална на окръжната скорост и на завъртването на въздуха в колелото.

Използувайки израза за коефициента на завъртването μ, това уравнение може да се напише в следния вид:

$$L_{е.ст} = \mu \frac{u^2}{g},$$

откъдето следва, че при дадена окръжна скорост работата за въртенето на колелото е пропорционална на коефициента на завъртването μ, който на средния радиус на колелото обикновено е равен на $0{,}4 \div 0{,}6$.

На фиг. 47 е показана диаграма на процеса сгъстяване на въздуха в степента на осевия компресор в координатите p—v. Линията 1—$3'$ изобразява адиабатичния процес на сгъстяването на въздуха в степента. Действителният процес на сгъстяването (линията 1—3) поради загряването на въздуха при обтичането на лопатките за сметка на триенето и другите хидравлични загуби протича с по-малко намаляване на обема, отколкото при адиабатичния процес.

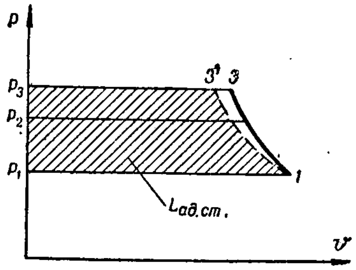
Отношението на налягането зад степента към налягането пред

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

колелото $\varepsilon_{ст}=\frac{p_3}{p_1}$ се нарича степен на сгъстяване на въздуха в степента, а защрихованата площ на диаграмата вляво от кривата *1—3'* изобразява адиабатичната работа на сгъстяването на въздуха ($L_{ад \cdot ст}$) в степента.

Степента на сгъстяване на въздуха в една степен на осевия компресор е значително по-малка, отколкото в центробежния компресор, и рядко превишава 1,3—1,35. Съответно, адиабатичната работа за сгъстяване на въздуха, която осигурява една степен, съставлява около 2500—3000 *кгм/кг*. Действителната (политропичната) работа за сгъстяване на въздуха $L_{п \cdot ст}$ е малко повече, отколкото $L_{ад \cdot ст}$, и числено е равна на площта, лежаща на диаграмата (гледай фиг. 47) вляво от линията *1—3*.



Фиг. 47. Диаграма на сгъстяването на въздуха в степента на осевия компресор в координатите *p—v*

За протичането на въздуха през степента може да бъде написано уравнението на Бернули с отчитане на външната механическа работа, което бе подробно разгледано по-рано (гледай стр. 42—43)

$$L_{е \cdot ст}=L_{п \cdot ст}+\frac{c_3^2-c_1^2}{2g}+L_{х \cdot ст}, \qquad (10)$$

където $L_{х \cdot ст}$ е работата, загубена за преодоляване на хидравличните съпротивления.

Уравнението на Бернули показва, че работата, изразходена за въртене на колелото на степента, отива за сгъстяване на въздуха, за изменение на кинетичната енергия на въздуха и за преодоляване на хидравличните загуби.

Отношението на адиабатичната работа за сгъстяване на въздуха в степента към сумата от политропичната работа на сгъстяването и работата на триенето се нарича, както и при центробежния компресор, адиабатичен коефициент на полезно действие на степента

$$\eta_{ст}=\frac{L_{ад \cdot ст}}{L_{п \cdot ст}+L_{х \cdot ст}}. \qquad (11)$$

Изменението на кинетичната енергия на въздуха в степените обикновено е малко. Затова сумата от работата за сгъстяване на въздуха $L_{п \cdot ст}$ и работата от триене $L_{х \cdot ст}$ в степента на осевия компресор, както следва от уравнението на Бернули, незначително се различава от работата за въртенето на колелото $L_{е \cdot ст}$.

Протичането на въздуха през степента на осевия компресор става без резки изменения в посоката на потока. На лопатките на колелото и изправящия апарат се придава обтекаема (аеродинамическа) форма, поради което к. п. д. на степента достига високи значения ($\eta_{ст}=0,87 \div 0,9$).

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Изменение параметрите на въздушния поток по височината на лопатките

Лопатките на работното колело на съвременния осев компресор имат доста сложна форма: в различните сечения профилът на лопатката има различна кривина и дебелина и е поставен под различни ъгли спрямо плоскостта на въртенето на колелото. Такова изменение на формата на лопатката за различните сечения се налага от изменението на формата на скоростните триъгълници и параметрите на въздушния поток по протежение на радиуса.

Конструкторът при проектиране на отделните степени на осевия компресор обикновено изхожда от необходимостта да се придава на въздуха на всеки радиус от лопатката една и съща енергия.

В противен случай въздушните струйки, които имат пред степента на различните радиуси еднакво налягане и скорост, зад степента ще имат различна скорост (при едно и също налягане) или пък различно налягане (при еднакви скорости), което неизбежно ще доведе до увеличаване разбъркването на въздуха и увеличаване на хидравличните загуби.

От разгледаното по-горе уравнение на Ойлер за степента (5) следва, че за подаването на въздух с еднаква енергия на всички радиуси е необходимо да се изменя завъртването на въздушната струя в колелото за различните радиуси така, че произведението $u\Delta C_u$ да остава постоянно. Следователно, ако обозначим окръжната скорост и завъртването на въздуха в колелото при основата на лопатката (при радиус $r_1=\frac{D_1}{2}$) с u_1 и Δc_{u1}, за всеки друг радиус

$$\Delta c_u=\Delta c_{1u}\frac{u_1}{u}=\Delta cu_1\frac{r_1}{r}. \qquad (12)$$

По такъв начин завъртването на въздуха в колелото трябва да се изменя обратно пропорционално на радиуса.

Като допълнително условие, определящо измененията на параметрите на въздуха и скоростните триъгълници според радиуса, се явява радиалното равновесие на въздушния поток между работното колело и изправящия апарат.

Необходимостта от отчитането на радиалното равновесие на потока при проектирането на въздушното витло и осевия вентилатор беше формулирана за пръв път от Н. Е. Жуковски и неговия ученик В. П. Ветчинкин още в 1913 година.

Окръжните съставни на скоростта на въздуха зад работното колело предизвикват центробежни сили, които се стремят да изтласкат въздуха към периферията на степента. Ето защо протичането на въздуха на пръстеновидни слоеве, паралелни на оста на въртенето на степените, е възможно само благодарение на закономерното нарастване на налягането на въздуха зад колелото от

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

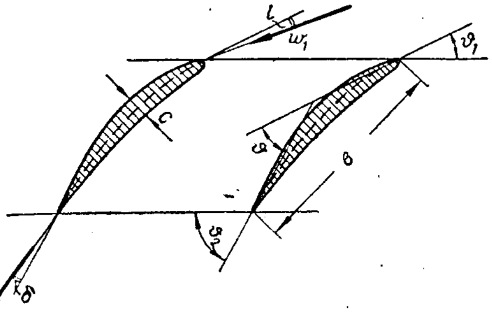
основата на лопатката към нейния край. Разликата в налягането уравновесява центробежните сили. Но при това абсолютната скорост на въздуха зад колелото, съгласно уравнението на Бернули, с увеличаване на радиуса трябва да се намалява.

На всеки закон за разпределението на окръжните съставни скорости на въздуха съответствува определен закон за изменението на налягането (и абсолютната скорост c_2) по височината на лопатката, при което протичането на въздуха запазва указания характер. При това изменението на скоростта по радиуса може да произлиза както от изменението на окръжната ѝ съставна c_{2u}, така и от изменението на осевата съставна c_{2a}.

При осево подвеждане на въздуха в работното колело ($c_{1u}=0$) завъртването ще бъде $\Delta c_u = c_{2u}$ (гледай фиг. 46). Следователно окръжната съставна на абсолютната скорост на въздуха зад колелото c_{2u} ще се изменя по радиуса така, както и самото завъртване, т. е. обратно пропорционално на радиуса:

$$c_{2u} = c_{2u1} \frac{r_1}{r},$$

където c_{2u_1} е окръжната съставна на скоростта в основата на лопатката. Законът за изменението на окръжната компонента на скоростта, обратно пропорционална на радиуса, често се среща в природата и техниката и носи наименованието „закон на свободния



Фиг. 48. Форма на напречното сечение на лопатките на работното колело

вихър". Проявлението на този закон може да видим при изтичането на течности през отвор в дъното на съд или при образуването на въздушни вихрушки на прашни пътища и т. н.

Изследванията показват, че при изменение на окръжната съставна на скоростта на въздуха в степента на осевия компресор по закона на свободния вихър необходимото нарастване на налягането по радиуса се осигурява само от изменението на c_{2u}, а осевата съставна на скоростта c_{2a} остава по радиуса постоянна.

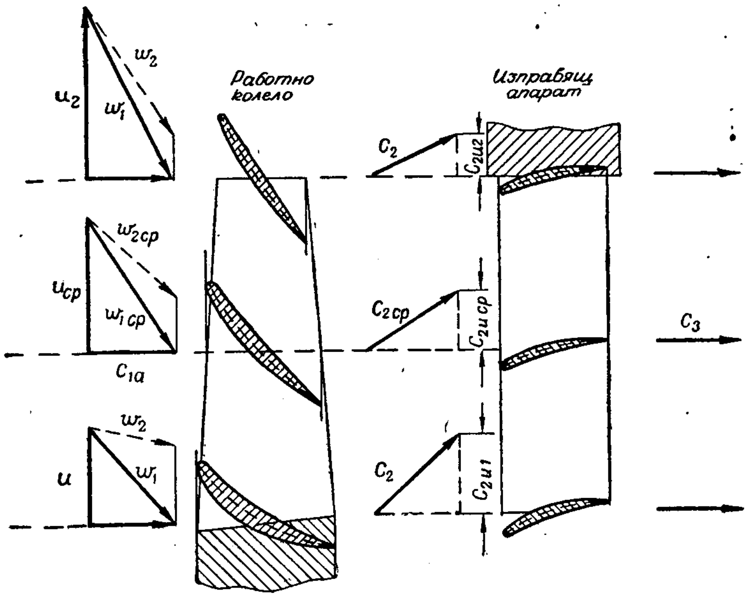
Изменението на окръжната скорост на въртенето на колелото, на окръжната и осевата съставна на скоростта на въздуха по ра-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

диуса предизвиква съответно изменение на скоростните триъгълници и формата на сечението на лопатките.

Формата на напречното сечение на лопатките на работното колело, както е показано на фиг. 48, се определя главно от кривината на средната линия на профила ϑ, от относителната дебелина $\bar{c} = \frac{c}{b}$ и от ъгъла на поставянето на профила в колелото. Този ъгъл трябва да бъде такъв, че посоката на допирателната към средната линия при атакуващия ръб на профила да съвпадне приблизително с посоката на относителната скорост на въздуха на входа на колелото w_1 (ъгълът i обикновено е от -5^0 до $+5^0$). Скоростта w_2 винаги е насочена под по-малък ъгъл, отколкото допирателната, към средната линия при изходящия ръб на профила (ъгълът δ е от 4 до 8^0). По същия начин се построява и профилът на лопатките на изправящия апарат.



Фиг. 49. Скоростни триъгълници и форми на сеченията на лопатката на работното колело и изправящия апарат на степента за различни радиуси

Ако се построят скоростните триъгълници за основното, средното и крайното сечение на степента и се начертае съответната форма на профила на лопатката на работното колело и лопатката на изправящия апарат във всяко сечение, както това е направено на фиг. 49, ще се окаже, че с преминаване от крайното сечение на степента към основното ъгълът на завъртването на потока в колелото и съответно кривината на профила непрекъснато ще на-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

растват. В същото време относителната скорост на въздуха на входа в колелото с намаляване на радиуса значително намалява. Понижаването на относителната скорост w_1, а следователно и на числото M на входа в колелото, позволява да се използуват в основното сечение на лопатката на работното колело по-дебели профили, отколкото на периферията, което е изгодно за лопатките от якостна гледна точка.

Интересно е да се отбележи, че в степента с лопатки, формата на сеченията на които е показана на фиг. 49, разпределението на работата за сгъстяване на въздуха между колелото и изправящия апарат не остава постоянно по протежение на радиуса. По периферията налягането зад колелото, а следователно и частта от общото повишаване на налягането, припадаща се на работното колело, е значително по-голямо, отколкото в основата. С други думи казано, степента на реактивност в такава степен на компресора нараства по протежение на радиуса от основата на лопатката към края й.

Степен на работно колело с предварително завъртване на въздушния поток

Освен разгледаната схема на степен с осево подвеждане на въздуха в работното колело в осевите компресори често се прилагат степени, в които въздухът предварително, преди постъпването му в работното колело, се завъртва по посоката или срещу посоката на въртенето на колелото.

В авиационните компресори предварителното завъртване почти винаги съвпада с посоката на въртенето, което позволява значително да се увеличи степента на сгъстяване на въздуха в една степен на компресора. От определението на к. п. д. на степента следва, че адиабатичната работа за сгъстяване на въздуха в степента е пропорционална на ефективната работа за въртене на колелото и на адиабатичния к. п. д:

$$L_{ад\cdot ст} \approx L_{е\cdot ст}\eta_{ст} = \frac{u\Delta c_u}{g}\eta_{ст}.$$

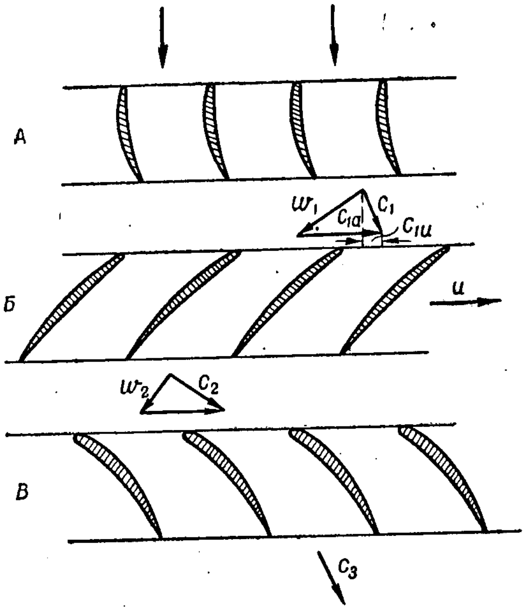
Оттук може да се направи заключение, че за повишаването на адиабатичната работа на сгъстяване на въздуха в степента е необходимо да се увеличи завъртването на въздушния поток Δc_u в колелото или да се повиши окръжната скорост на колелото (к. п. д. на степента вече е достигнал доста високи значения и по-нататъшното негово подобрение не може да даде съществено увеличение на $L_{ад\cdot ст}$). Но увеличаването на завъртването на въздуха в колелото, както следва от скоростния триъгълник (гледай фиг. 46), е свързано с необходимостта да се увеличи ъгълът на завъртването на потока в колелото $\varepsilon^0 = \beta_2 - \beta_1$. Практиката обаче показва, че увеличаването на ъгъла ε^0 над $30 \div 40^0$ довежда до откъсване на потока от изпъкналата част на лопатката (гърба), при което к. п. д. на степента рязко пада. Ето защо ъгълът на завъртването

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

на потока в основното сечение на лопатката (където той се оказва най-голям, гледай фиг. 49) се прави не повече от 30—40°.

Окръжната скорост u на външния диаметър на колелото при отсъствие на предварително завъртване на потока достига до 280÷300 *м/сек*. При това относителната скорост на въздуха на входа в работното колело $w_1=\sqrt{u^2+c_{1a}^2}$ вече се оказва твърде близка до скоростта на звука и по-нататъшното увеличение на u води до рязко нарастване на загубите, свързани с образуването на скокове на уплътнения в работното колело.



Фиг. 50. Схема на степен с предварително завъртване на въздуха в посока на въртенето на работното колело:
А — направляващ апарат; *Б* — работно колело; *В* — изправящ апарат

Предварителното завъртване на въздуха пред колелото позволява да се увеличи окръжната скорост, като се запазват предишните значения на завъртването Δw_u и к. п. д. на степента.

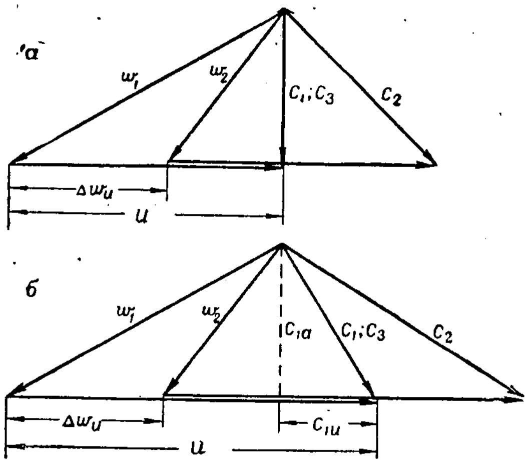
На фиг. 50 е дадена схема на степен с предварително завъртване на въздуха по посока на въртенето на колелото. В такава степен пред работното колело *Б* се поставя неподвижна решетка от профили *А* (направляващ апарат), която отклонява въздушния поток по посока на въртенето. Абсолютната скорост на въздуха на изхода от направляващия апарат (на входа на колелото) има при това две съставни: осева c_{1a} и окръжна c_{1u}. В резултат на това предишното значение на относителната скорост w_1 се достига вече при по-голяма окръжна скорост, което нагледно е показано на фиг. 51, където

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

са построени скоростните триъгълници за степен с осево подвеждане на въздуха (*а*) и с предварително завъртване (*б*).

Увеличението на окръжната скорост (при запазване на предишната относителна скорост w_1 и предишното завъртване на въздуха в колелото Δw_u) позволява значително да се увеличи степента на сгъстяването на въздуха в отделната степен в сравнение със степента на сгъстяване, достигната в степен с осево подвеждане на въздуха. При тази степен сгъстяването на въздуха в работното колело се запазва приблизително същото, както и в степента с осево подвеждане на въздуха, тъй като сгъстяването на въздуха в колелото става за сметка на намалението на кинетичната енергия на въздуха в относителното движение $\left(\frac{w_1^2-w_2^2}{2g}\right)$, а скоростите w_1 и w_2 в двете схеми могат да имат еднакво значение.



Фиг. 51. Скоростни триъгълници на въздуха в степени с различни схеми:

а — степен с осево подвеждане; *б* — степен с предварително завъртване на въздуха по посока на въртенето на колелото

По такъв начин увеличението на степента на сгъстяване на въздуха в степен с предварително завъртване на въздуха по посока на въртенето се достига за сметка на увеличението на степента на сгъстяване (адиабатичната работа) в изправящия апарат. Его защо в такава схема участието на изправящия апарат в общата работа на сгъстяването се повишава и може да достигне до 50% и даже повече.

Величината на предварителното завъртване на въздуха пред колелото c_{1u} по протежение на радиуса не остава постоянна. Най-голямо предварително завъртване е необходимо на външния диаметър на колелото, където окръжната скорост на лопатките има най-голямо значение. При основата на лопатките окръжната ско-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

рост има най-малко значение и затова тук е достатъчно значително по-малко предварително завъртване или даже то може изцяло да се премахне. Ето защо конструкторът на авиационния осев компресор обикновено осигурява постепенно намаляване на предварителното завъртване на въздуха от периферията на лопатката към нейната основа за сметка на съответното усукване на лопатките на направляващия апарат.

Разчетите показват, че в този случай осевата съставна скорост на въздуха пред и зад работното колело вече не остава постоянна, а постепенно се увеличава от периферията към основата на лопатките. Изчисленията показват също, че при това разпределението на работата за сгъстяването на въздуха между колелото и изправящия апарат на всички радиуси си остава почти едно и също. Затова в техническата литература такава степен на компресора често се нарича степен с постоянна степен на реактивност.

В многостепенния осев компресор не е необходимо да се поставя направляващ апарат *А* пред всяка степен. Неговата роля с успех може да изпълнява изправящият апарат на предидущата степен, който трябва в този случай да завърти въздушния поток, излизащ от колелото, не до осевата посока, а на по-малък ъгъл, така че да се запази необходимото завъртване на въздуха пред работното колело на следващата степен. При това предварителното завъртване на въздуха за всяка следваща степен може да бъде по-малко, отколкото за предидущата, тъй като за сметка на загряването на въздуха в степента и на съответното увеличение на скоростта на звука се намалява опасността от появяването на вълнови загуби. Ето защо в един и същ компресор могат да се срещнат степени, имащи различно по величина и даже по посока предварително завъртване на въздуха пред работното колело.

Многостепенни осеви компресори

Степента на сгъстяване на въздуха, получена от една степен на осевия компресор (до 1,2—1,35), е съвършено недостатъчна за съвременния ВРД. Ето защо във ВРД се използуват само многостепенни компресори, в които необходимата степен на сгъстяване се получава чрез последователното повишаване на налягането в няколко последователни степени.

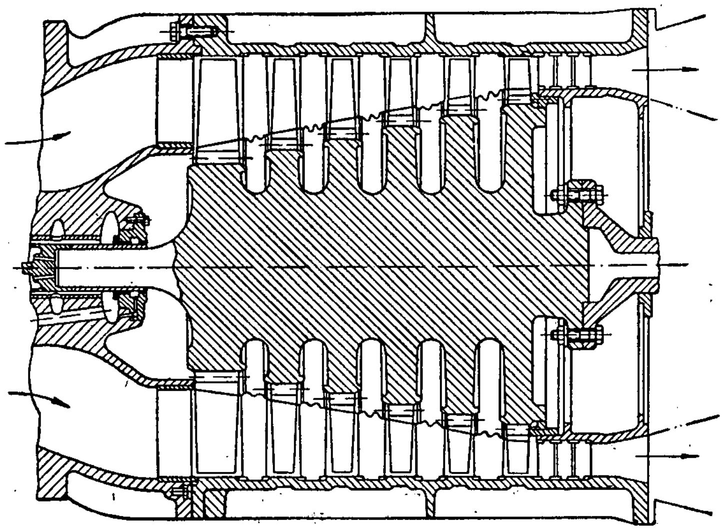
Лопатките на работните колела на всички степени обикновено се монтират на един общ барабан или на отделни дискове, които се съединяват след това заедно, например с помощта на общ вал или по друг начин. Дисковата конструкция е по-сложна за производство, но позволява да се получат по-високи окръжни скорости на работните колела, което се отразява върху общото налягане на компресора.

Необходимото намаляване на височината на лопатките от първата към последната степен може да бъде достигнато чрез увеличаване на външния диаметър на степените, както е показано на

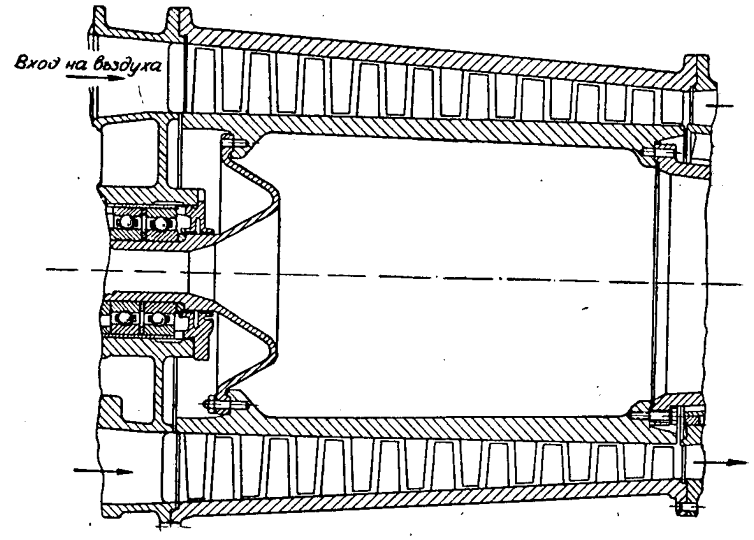
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

фиг. 52, или чрез намаляване на външния диаметър (фиг. 53). Последната схема често се използува при барабанна конструкция на ротора на компресора. Обаче понижаването на окръжната скорост,



Фиг. 52. Схема на многостепенен осев компресор с намаляване височината на лопатките за сметка на увеличаването на вътрешния диаметър на степените



Фиг. 53. Схема на многостепенен осев компресор, който има намаляване на височините на лопатките за сметка намаляването на външния диаметър на степените

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

свързано с намаляването на външния диаметър на работните колела, предизвиква в този случай значително понижаване на налягането на последните степени на компресора в сравнение с първата схема. При въздушно-реактивните двигатели се използват двете посочени схеми на проточната част на компресора.

Многостепенната конструкция позволява рязко да се увеличи степента на сгъстяване на въздуха в осевия компресор, тъй като общата степен на сгъстяване на въздуха в компресора е равна на произведението от степените на сгъстяване на отделните негови степени. Така например, ако компресорът има осем степени и ако степента на сгъстяване на всяка степен средно е $\varepsilon_{ст}=1{,}25$, общата степен на сгъстяване ще бъде равна на $\varepsilon_{к}=1{,}25^8=5{,}96$.

Ефективността на многостепенния осев компресор, също както и на центробежния, се характеризира от значенията на адиабатичния и ефективния к. п. д.

Адиабатичен к. п. д. на компресора се нарича отношението на адиабатичната работа на сгъстяването на въздуха в компресора $L_{ад\cdot к}$ към сумата от действителната работа на сгъстения въздух $L_{п\cdot к}$ и работата на триенето $L_{тр\cdot к}$:

$$\eta_{ад\cdot к}=\frac{L_{ад\cdot к}}{L_{п\cdot к}+L_{тр\cdot к}}. \qquad (13)$$

Ефективен к. п. д. на компресора се нарича отношението на адиабатичната работа на сгъстяването на въздуха в компресора към работата $L_{е\cdot к}$, изразходена за въртенето на неговия ротор:

$$\eta_{е\cdot к}=\frac{L_{ад\cdot к}}{L_{е\cdot к}}. \qquad (14)$$

Съгласно уравнението на Бернули за компресора

$$L_{е\cdot к}=L_{п\cdot к}+L_{тр\cdot к}+\frac{\Delta c^2}{2g},$$

където $\frac{\Delta c^2}{2g}$ е изменението на кинетичната енергия на въздуха в компресора. В многостепенния компресор изменението на кинетичната енергия на въздуха е малко в сравнение с $L_{е\cdot к}$, поради което ефективният к. п. д. на компресора малко се различава от неговия адиабатичен к.п.д.

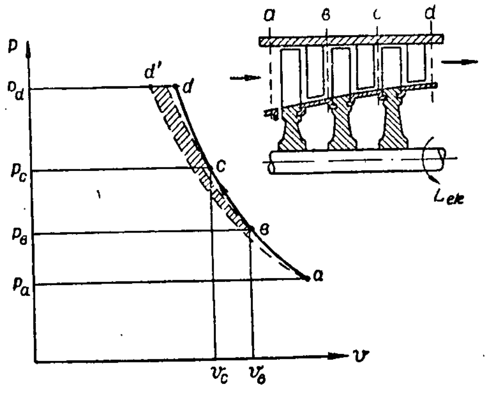
Адиабатичният к.п.д. на многостепенния компресор се оказва по-нисък от коефициента на полезното действие на степента. На фиг. 54 е изобразена диаграма, характеризираща състоянието на въздуха през време на сгъстяването му в координатите $p—v$ за тристепенен компресор. На диаграмата точката a характеризира състоянието на въздуха на входа в първата степен, а точките b, c, d — състоянието на изхода от първата, втората и третата степен.

Адиабатичният процес на сгъстяването на въздуха в целия компресор е изобразен с адиабатата ad'. Но за втората и третата сте-

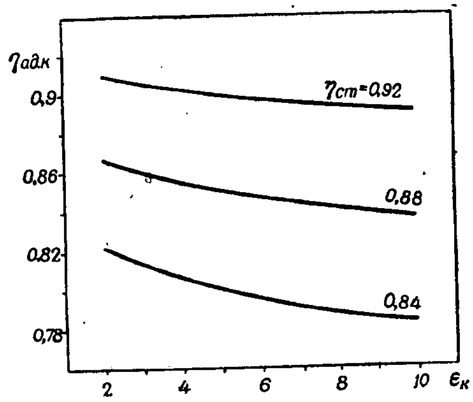
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

пен линията на адиабатичното сгъстяване на въздуха в дадената степен не съвпада с адиабатата ad', тъй като относителният обем на въздуха на входа в тези степени ($v_в$ и v_c) е увеличен вследствие отклонението на действителния процес от адиабатичния.



Фиг. 54. Диаграма на състоянието на въздуха в процеса на сгъстяването в тристепенен компресор в координатите $p—v$



Фиг. 55. Грифик на зависимостта на адиабатичния к. п. д. на компресора от степента на сгъстяване при различни к. п. д. на степента на компресора

Ето защо адиабатичната работа на сгъстяването на въздуха, получена в компресора, се оказва, както се вижда от фиг. 54, помалка от сумата на адиабатичните работи на сгъстяване на въздуха във всичките три степени с величина, съответствуваща на защрихованата площ.

В същото това време работата, изразходвана за въртенето на тристепенния компресор, е равна на сумата от работите, изразхо-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

дени за въртенето на всяка негова степен, поради което к. п. д. на многостепенния компресор се оказва по-малък в сравнение с к. п. д. на отделните степени.

За осев компресор, при който степента на сгъстяване на въздуха за всяка степен е малка и к. п. д. на всички степени е еднакъв, посоченото снижение на к. п. д. зависи главно от степента на сгъстяването в целия компресор $\varepsilon_к$ и може да бъде отчетено с помощта на формулата на академик Б. С. Стечкин:

$$\eta_{ад,к} \frac{\varepsilon_к^{0,286} - 1}{\varepsilon_к^{0,286} \cdot \eta_{ст} - 1}. \qquad (15)$$

На фиг. 55 са приведени кривите за зависимостта на к. п. д. на компресора от степента на сгъстяване за различни к. п. д. на степента. Както се вижда от тези криви, при съвременните значения на к. п. д. на степента ($\eta_{ст}$=0,87—0,9) спадането на адиабатичния к. п. д. на многостепенния осев компресор в сравнение с к. п. д. на степента е незначително и на разчетен режим $\eta_{ад,к}$ може да достигне значения от 0,84 до 0,87.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Доцент, кандидат по техническите науки
инженер-майор Ю. Н. НЕЧАЕВ

ХАРАКТЕРИСТИКИ НА КОМПРЕСОРИТЕ И ТЯХНОТО РЕГУЛИРАНЕ

Досега беше разгледана работата на центробежния и осевия компресор на разчетен режим. Газодинамическият разчет и определянето на проходните сечения и ъглите на поставяне на лопатките се правят за разчетен режим. Затова този режим съответствува обикновено на оптималните условия на работа на компресора.

В експлоатацията режимите на работа на компресора могат да се изменят в твърде широки граници както вследствие изменението на режимите на работа на двигателя (оборотите и разхода на въздуха), така и от изменението на атмосферните условия на входа на компресора. Това предизвиква изменение на скоростта и плътността на въздуха в различните сечения. Проходните сечения и ъглите на поставяне на лопатките остават същите, както и на разчетния режим, т. е. те се оказват несъответствуващи на променения характер на движението на въздуха. Посоченото обстоятелство води към изменение степента на сгъстяване и к. п. д. на компресора, т. е. към преминаването му на нов режим.

Зависимостите, показващи как се изменят данните на компресора при изменение на неговия режим на работа, е прието да се наричат *характеристики* на компресора.

По характеристиките на компресора може да се съди за влиянието на различните експлоатационни фактори (режима на полета, оборотите, атмосферните условия) върху основните данни на компресора и двигателя в цяло, а така също да се определят найизгодните условия за съвместна работа на компресора и турбината на ТуРД и ТВД, да се състави програма за тяхното регулиране и т. н.

Построяването на характеристиките на компресора по разчетен път е свързано с големи трудности, тъй като условията на протичането на въздуха на неразчетни режими са твърде сложни, а характерът на изменението на основните загуби е изучен засега недостатъчно. Ето защо характеристиките на компресорите обикновено се получават експериментално.

Стендът (станокът) за изпитанието на компресорите трябва да позволява да се изменяват разходът на въздуха и оборотите в широки граници. Изменението на оборотите може да се осъществи

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

например посредством изменението на мощността на двигателя, привеждащ компресора във въртене, а изменението на разхода на въздуха — посредством изменение положението на дроселната клапа, поставена на входа на компресора или на изхода от него. Обаче при такива изпитания пълно възпроизвеждане на режима на полета и атмосферните условия, които се срещат при експлоатацията на компресора на авиодвигателя, обикновено не се постига. Ето защо има нужда от няколко характеристики, снети на стенда при различни условия на полета и различни атмосферни условия.

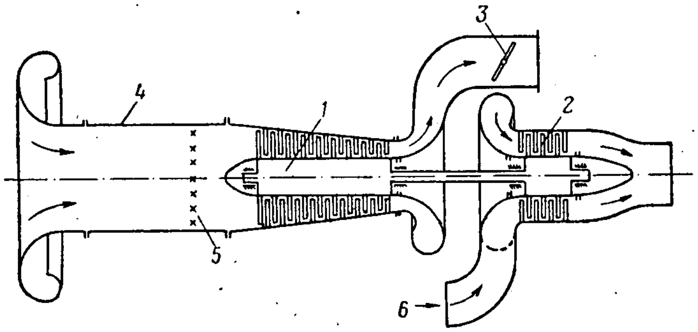
За правилната експлоатация на компресора твърде важно значение има също така въпросът за неговото регулиране, т. е. за начините на определяне режимите, които биха осигурили най-целесъобразното използуване на компресора в полет и биха предотвратили възможността за възникване на неустойчива работа.

Тези въпроси ще разгледаме по-долу.

Изпитание на компресорите

Характеристиките на компресорите се определят при изпитанието на компресорите на специално оборудвани стендове.

Принципната схема на един от тези стендове е изобразена на фиг. 56. В тази схема изпитваният компресор *1* се привежда във въртене от газовата турбина *2*, която получава работен газ от отделна газгенераторна установка.



Фиг. 56. Принципна схема на стенд за изпитание на компресори:

1 — изпитван компресор; *2* — газова турбина; *3* — дроселна клапа; *4* — мерно сопло; *5* — приемник за измерване на скоростното поле; *6* — тръбопровод за подвеждане на газа от газгенераторната уредба

Количеството на въздуха, който минава през изпитвания компресор, се регулира с помощта на дроселна клапа, поставена във входния тръбопровод.

Регулирането на мощността, придавана на изпитвания компресор и на неговите обороти, се постига чрез изменение на налягането и температурата на газа, подаван от газгенератора по тръбопровода в турбината.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Трябва да се отбележи, че за въртенето на компресора на ТуРД при неговото изпитание е необходима много голяма мощност (няколко десетки хиляди конски сили). Във връзка с това изпитанието на компресорите е целесъобразно да се прави при понижено налягане с цел да се намали тегловният разход на въздуха, а следователно да се намали и мощността, необходима за тяхното въртене. Ето защо на практика се използуват обикновено по-сложни изпитателни установки от вакуумен тип.

Измерването на разхода на въздуха се прави в мерното сопло *4*, което се монтира пред входа на компресора.

Мерното сопло има цилиндричен участък с достатъчна дължина, в който се поставят редица приемници за измерване на скоростното поле *5*. По данните от тези измервания се определя разходът на въздуха през компресора.

За да може по данните от изпитанията на компресора да бъде построена неговата характеристика, необходимо е през време на изпитанията освен разходът на въздуха да се измерват още оборотите, мощността, необходима за компресора, а така също температурата и налягането на входа и изхода. Като се знаят тези величини, може да се изчислят степента на сгъстяване на компресора, неговият коефициент на полезно действие и други данни, необходими за построяване на характеристиката.

Измерването на оборотите изисква голяма точност, тъй като изменението на оборотите с 1 % води към изменение на степента на сгъстяване приблизително с 2—2,5 %, а на мощността на компресора с 3 %. Необходимата точност при измерването на оборотите се осигурява чрез използуването на сумарни броячи или специални електрически оборотомери.

Определянето на мощността, изразходвана от компресора, се извършва по различни методи.

При непосредственото определяне на мощността се измерва въртящият момент, предаван на компресора от двигателя, който го върти.

За тази цел на вала, който съединява компресора с двигателя, се поставят динамометрическа втулка или тензометър. Измерването на въртящия момент може да бъде осъществено също чрез поставянето на компресора (или двигателя, който го върти) на балансировъчен станок.

По-често обаче се прилага косвеният метод на определяне мощността на компресора по ефективната работа и разхода на въздуха.

Ефективната работа на компресора се определя, като се използува уравнението за запазването на енергията:

$$L_{е.к} = 102,5\,(T_2^* - T_0)\ [кгм/кг].$$

След като се измери температурата на заприщения въздушен поток на изхода от компресора T_2^* и температурата на обкръжа-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ващата атмосфера T_0, по това уравнение се определя ефективната работа.

Мощността на компресора се определя по формулата

$$N_k = \frac{G\,L_{e.k}}{75}\ [\kappa.c.].$$

Този способ на определяне мощността на компресора е твърде прост, но не е достатъчно точен.

Измерването на температурата на въздуха се извършва с помощта на живачни термометри или термопари.

Термометърът или термопарът, поместени във въздушния поток, показват не истинската температура, а температурата на частично заприщения поток. За да се заприщи напълно въздушният поток в мястото на измерването на температурата, термометърът (или термопарът) се поставя в специални тръби, в които от всяка страна на насрещния поток се намира отверстие. Въздухът, който минава през това отверстие, напълно се заприщва. За намаляване инерционността в показанията на термометъра в противоположната стена на тръбичката се пробива малко отверстие (с диаметър $1 \div 2$ *мм*), което осигурява циркулацията на въздуха. Измерената по такъв начин температура се нарича *пълна температура*. Като се знае скоростта на въздуха в мястото на измерването на пълната температура, може да се определи истинската температура.

Измерването на статическото налягане на въздуха на входа в компресора и на изхода от него се прави както обикновено, през отверстия с малък диаметър, пробити в стените на всмукателния и нагнетателния тръбопровод. При значителна неравномерност на налягането по сечението се използуват статически сонди, позволяващи да се измери налягането в средата на потока. През време на изпитанието може да се измерят и редица други величини.

По измерените величини могат да бъдат определени за всеки режим на работа на компресора всички параметри, необходими за построяване на характеристиките му.

Характеристики на компресорите по разхода на въздуха

Зависимостите на степента на сгъстяване и коефициента на полезното действие на компресора от разхода на въздуха, получени при постоянни обороти, се наричат характеристики по разхода на въздуха.

Характеристиките на центробежния компресор по разхода на въздуха са показани на фиг. 57. Тук по вертикалната ос са нанесени величините на степените на сгъстяване на компресора ε_k и неговият адиабатичен к. п. д., а по хоризонталната ос — обемният разход на въздуха на входа в компресора V_1 [$м^3/сек$]. Горните криви дават зависимостта на к. п. д. на компресора, а долните —

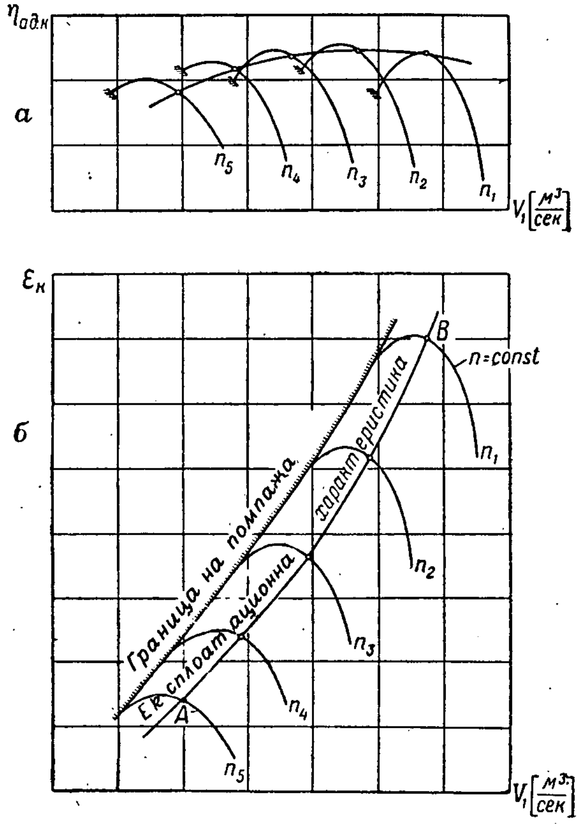
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

степента на сгъстяване от обемния разход на въздуха. Всяка крива съответствува на постоянно значение на оборотите.

Както се вижда от тези характеристики, степента на сгъстяване в компресора с намаляването на разхода на въздуха отначало расте, достига при известен разход на въздуха максималното си значение, а след това започва да пада.

При намаляване на разхода на въздуха повече от определена величина работата на компресора става неустойчива. Неустойчивата работа на компресора се нарича *помпаж.*



Фиг. 57. Характеристики на центробежния компресор в зависимост от разхода на въздух

На всяко число обороти съответствува пределно значение на обемен разход на въздух, при който се появява помпаж.

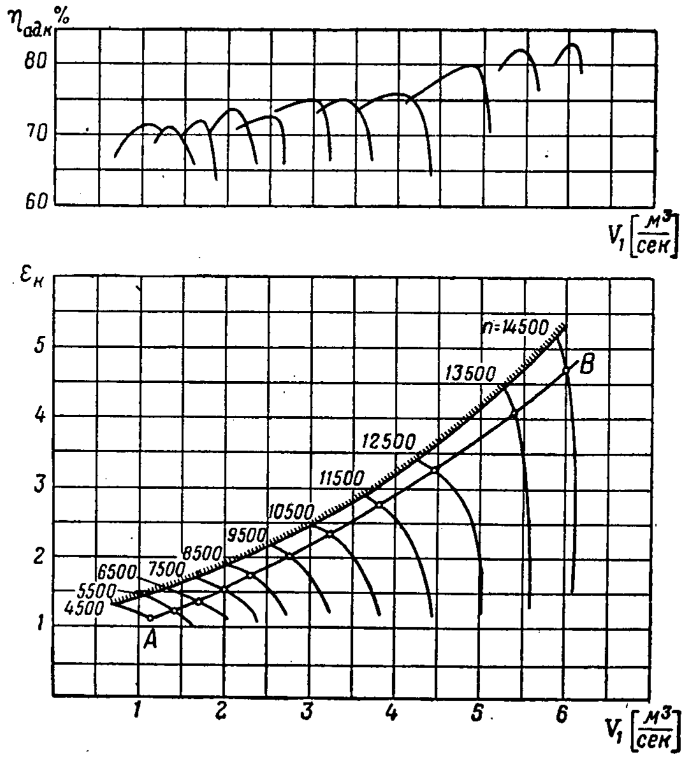
На фиг. 57 към кривите за зависимостта на степента на сгъстяване на компресора от разхода на въздуха е нанесена линия, която съединява точките на началото на помпажа при различни обороти. Тази линия се нарича граница на устойчивите режими на работа на компресора, или *граница на помпажа.*

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Както се вижда, помпажът в центробежния компресор възниква на режими, съответствуващи на левите части на характеристиките, т. е. в тази област, където намаляването на разхода на въздуха води към намаляване степента на сгъстяване на компресора.

Характеристиките на компресора, снети на изпитателен стенд, обхващат широк диапазон на режими на работата му. Не всички тези режими могат да бъдат получени от компресор, работещ в ТуРД или ТВД. Например в ТуРД при дадени условия на полета разходът на въздуха обикновено може да се изменя само от



Фиг. 58. Характеристики на осев компресор по разхода на въздух

изменението на оборотите. Ето защо на всяка линия от характеристиките има само една точка, на която компресорът може да работи при посочените условия. Съединявайки тези точки, можем да получим крива на възможните режими на работа на компресора, наречена експлоатационна крива, или експлоатационна характеристика (крива *AB*).

Характеристиките на многостепенен осев компресор са дадени на фиг. 58. Въобще те имат приблизително същия характер, както

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

характеристиките на центробежния компресор. Разликата се състои само в това, че степента на сгъстяване и к. п. д. на осевия компресор при увеличаването на разхода на въздуха падат по-рязко, отколкото при центробежния компресор. Големият наклон на характеристиките на осевия компресор става особено чувствителен при високи обороти, когато кривите на зависимостта на степента на сгъстяване от разхода на въздуха (напорните криви) се разполагат почти вертикално. В резултат на това осевият компресор при постоянно значение на оборотите може ефикасно да работи в сравнително тесен диапазон на разходи. Така увеличаването на разхода на въздуха в сравнение с разчетния (точка B) при постоянни обороти води към рязко падане на сгъстяването и к. п. д. на компресора. Намаляването на разхода довежда до известно увеличаване степента на сгъстяване, скоро след което настъпва помпаж. Друга отличителна особеност на характеристиките на многостепенния осев компресор е това, че в тях помпаж възниква в десните части на напорните криви, поради което левите им части при изпитанията не могат да се получат.

Отбелязаните особености на характеристиките на осевия компресор затрудняват използването му, когато е необходимо да имаме значително изменение на разхода на въздуха при постоянни обороти, например в агрегатите за повишаване налягането (надува) в буталните двигатели. Обаче посоченото обстоятелство не пречи за използването на осевите компресори в турбо-реактивните двигатели, където разходът на въздуха се изменя незначително и експлоатационната крива при всички обороти се простира в зоната на високите значения на наляганията и на коефициентите на полезното действие на компресора (гледай фиг. 58).

Да обясним какви физически причини определят посочения характер на зависимостта на степента на сгъстяване и к. п. д. на компресора от разхода на въздуха при постоянни обороти. Ще разгледаме отначало този въпрос за центробежния компресор.

При центробежния компресор с радиални лопатки ефективната работа се определя по уравнението на Ойлер, съгласно което

$$L_{e,к}=(\mu+\alpha)\frac{u_2^2}{g}.$$

За по-ясно ще разгледаме компресор, при който няма предварително завъртване на въздуха или то е толкова малко, че може да се пренебрегне. При качествено разглеждане на явленията, които стават в компресора, такова ограничение е напълно допустимо.

Както беше отбелязано по-рано, при постоянни обороти ефективната работа на компресора практически може да се счита независеща от разхода на въздуха. Тази работа се изразходва частично за сгъстяване на въздуха и частично за преодоляване на загубите.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

При отсъствие на загуби в компресора ефективната работа би отишла напълно за сгъстяване на въздуха и степента на сгъстяване на компресора при всеки разход би била еднаква. В този случай би се получила хоризонтална характеристика на налягането на компресора.

В действителност част от ефективната работа трябва да бъде изразходвана за преодоляване на хидравличните загуби. Но тъй като загубите зависят от разхода на въздуха, който преминава през компресора, то и степента на сгъстяване на компресора трябва да се изменя с изменението на разхода на въздуха.

Всички загуби, възникващи при движението на въздуха в компресора, ще разделим условно на два вида: загуби от триене и загуби от удар.

Загубите от триене се състоят от загуби, които възникват от триенето на въздушните частици в стените и помежду си, вихрови загуби, предизвикващи резки завъртвания на потока и откъсването му от стените, а също така и вълнови загуби, които се образуват в тези места, където скоростта на движението на въздуха превишава скоростта на звука. Всички тези загуби зависят от разхода на въздуха през компресора (скоростта на движението на въздуха) и с увеличението му загубите нарастват.

Ако в компресора биха съществували само загуби от триене, а загубите от удар липсваха, би се стигнало дотам, че с увеличаването на разхода на въздуха все по-голяма част от ефективната работа би се разходвала за преодоляване на хидравличните загуби и по-малка част би оставала за сгъстяване на въздуха. Степента на сгъстяване с увеличаване разхода на въздуха в такъв случай би трябвало да се намалява.

Фактически обаче, както се вижда от фиг. 57, степента на сгъстяване на центробежния компресор с увеличаване разхода на въздуха отначало малко се увеличава, а след това започва да пада.

Появата на максимуми на кривите на налягането се явява вследствие появата на загуби от удар. Тяхното появяване се обяснява със следните причини.

При работа на компресора на разчетен режим посоката на въздушния поток приблизително съвпада с посоката на предните ръбове на лопатките и въздухът влиза в лопатъчния венец, както се казва, „безударно", т. е. практически без загуби.

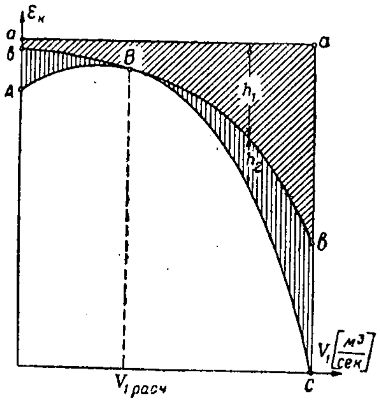
При отклонение на режима на работа на компресора от разчетния режим посоката на движението на въздуха значително се отклонява от посоката на предните ръбове на лопатките. В резултат на това възникват откъсвания на въздушната струя от лопатките, което се съпровожда с интензивно образуване на вихри. Възникващите по посочената причина хидравлични загуби получиха условното наименование ударни загуби. Тези загуби нарастват както при увеличаване, така и при намаляване разхода на въздуха в сравнение с разчетния.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

С наличието на ударни загуби се обяснява и фактът, че степента на сгъстяване в компресора може да се намали не само при увеличаване, но и при намаляване разхода на въздуха.

Графичен израз на посоченото относително влияние на загубите върху характера на изменението на степента на сгъстяване по разхода на въздуха е даден на фиг. 59. Тук хоризонталната права *а—а* изобразява зависимостта на степента на сгъстяване на компресора от разхода на въздуха при постоянни значения на оборотите при условие, че няма никакви хидравлични загуби. Линията *вВв* показва зависимостта на степента на сгъстяване на компресора от разхода на въздуха при наличие само на загуби от триене. Най-после линията *АВС* съответствува на фактическата зависимост на степента на сгъстяване от разхода на въздуха с отчитане загубите от триене и от удар.



Фиг. 59. Влияние на загубите върху характеристиката на компресора в зависимост от разхода на въздух

Ординатата h_1 (косо защрихованата площ) характеризира намаляването на степента на сгъстяване на компресора за сметка на загубите от триенето, а ординатата h_2 (площта, защрихована вертикално) — за сметка на ударните загуби.

Адиабатичната работа на компресора в зависимост от разхода на въздуха ще се изменя приблизително по такъв начин, както и степента на сгъстяването. Ето защо ефективният к. п. д. на компресора, равен на

$$\eta_{e.k.} = \frac{L_{ад.\,k}}{L_{e.k}},$$

както и адиабатичната работа, ще достига своя максимум близо до разчетното значение на разхода на въздуха, а при значително отклонение на разхода на въздуха от разчетния както в страната на увеличаване, така и в страната на намаляване ще се намалява.

Зависимостта на адиабатичния к. п. д. от разхода на въздуха ще има аналогичен характер, тъй като той по величина се различава малко от ефективния к. п. д. (гледай фиг. 57).

В осевия компресор ефективната работа при постоянни обороти и при изменение на разхода на въздуха не остава постоянна. Тя се намалява с увеличаване разхода на въздуха. Затова пък, ако нямаше хидравлични загуби в осевия компресор, степента на сгъстяване с увеличаване на разхода на въздуха би трябвало да се намалява.

Това предопределя в известна степен по-стръмния характер на протичане на характеристиките на осевия компресор.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Да поясним защо ефективната работа на осевия компресор при увеличаване разхода на въздуха и при запазване на оборотите се намалява. За тази цел ще разгледаме как влияе изменението на разхода на въздуха върху протичането на въздуха в работното колело в коя да е негова степен.

В горната част на фиг. 60 е показано обтичането от въздух на лопатките на осевия компресор при разчетен режим, когато посоката на налитащия върху лопатките поток се оказва близка до посоката на предните ръбове.

При увеличаване разхода на въздуха в сравнение с разчетния нараства скоростта c_1 и при постоянна окръжна скорост u ъгълът β_1 (между посоката на скоростта w_1 и плоскостта на въртенето на колелото) се увеличава (средната част на фиг. 60). Посоката на въздушния поток, който обтича работните лопатки, при това не съвпада с посоката на предните им ръбове, в резултат на което би трябвало да се увеличат загубите от триене (поради нарастването на скоростта на движението на въздуха в каналите между лопатките) и да се появят ударни загуби (поради откъсване на въздушния поток от предните ръбове на лопатките).

Обаче посоката на въздушния поток на изхода от колелото (ъгъл β_2) при това практически не се изменя, тъй като въздушният поток зад колелото е насочен приблизително по допирателната към средната линия на профила на лопатките при изходящите ръбове. Това, както се вижда от триъгълника на скоростите (на фиг. 60), води до намаляване на завъртването на въздуха Δw_u в работното колело и до намаляване на ефективната работа на степените, която се изразява с формулата

$$L_{e.ст}=\frac{\Delta w_u u}{g}.$$

Намаляването на разхода на въздуха в сравнение с разчетния води към увеличаване на завъртването Δw_u и следователно към повишаване на ефективната работа на всяка степен. При това се намаляват загубите от триене, тъй като се понижава скоростта на движението на въздуха относно лопатките, а ъгълът между посоката на въздушния поток и предните ръбове на лопатките нараства, което способствува за увеличаване на ударните загуби и довежда в края на краищата до интензивно откъсване на потока от изпъкналите повърхности на лопатките и до възникване на помпаж, за което подробно ще бъде казано по-долу.

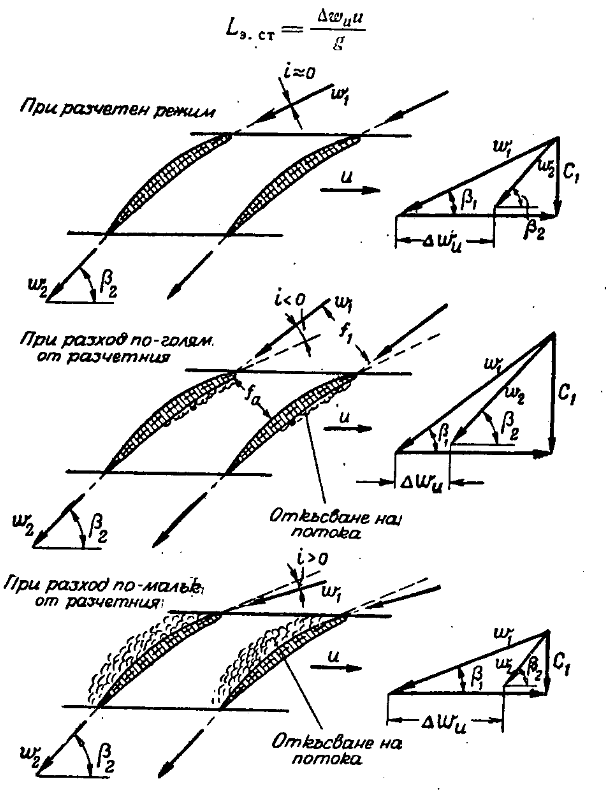
В многостепенните осеви компресори, както се отбеляза, помпаж може да настъпи в левите части на характеристиките. В този случай в десните части помпаж няма да има. Това се обяснява с факта, че в многостепенния осев компресор при намаляване на разхода на въздуха помпажът настъпва не във всички степени едновременно, а само в няколко от тях. Останалите степени работят при това още на десните части на своите характеристики,

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

т. е. в такива условия, когато при намаляване на разхода на въздуха тяхната степен на сгъстяване нараства.

По-стръмното протичане на характеристиките по разхода на въздуха в зоната на високите обороти, което се наблюдава в центробежните и по-специално в осевите компресори, се обяснява със следните причини. Компресорите на съвременните ТуРД са направени по такъв начин, че на разчетен режим относителните скорости на въздушния поток, който обтича лопатките, се оказват близки до скоростта на звука. При увеличаване на разхода на въз-



Фиг. 60. Обтичане от въздуха на лопатките на колелото на осев компресор при различни режими

духа скоростта в тесните сечения на каналите, образувани от лопатките (в сеченията f_a, гледай фиг. 60), твърде бързо достига скоростта на звука, особено в последните степени на осевия компресор, където обемният разход расте значително по-бързо, отколкото в първите, поради падането на налягането на компресора. По-нататъшното увеличаване на обемния разход на въздуха на изхода от компресора става невъзможно. Ето защо кривите, ко-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ито изобразяват зависимостта на степента на сгъстяване от разхода на въздуха, в тази зона стават почти вертикални.

Колкото е по-висока изходната степен на сгъстяване в компресора и колкото по-голяма е разчетната величина на скоростта на движението на въздуха относно неговите лопатки, толкова по-силно става влиянието на изброените фактори и толкова по-стръмно протичат характеристиките. Затова, специално в центробежните компресори с радиални лопатки, които имат сравнително ниски разчетни значения на степените на сгъстяване и дозвукови скорости на въздуха на входа в лопатъчния дифузор, характеристиките се оказват по-полегати, отколкото във високонапорните и многостепенните осеви компресори, особено от тези, които имат свръхзвукови степени.

* * *

Ще отбележим, че твърде често при построяването на характеристики на компресора зависимостите на неговия к. п. д. от разхода на въздуха не се дават във вид на криви, показани на фиг. 57 и 58, а се нанасят направо върху напорните характеристики във вид на линии с постоянно значение на к. п. д.

За да се възпроизведе такова престрояване, необходимо е върху съществуващия експериментален график, показващ зависимостта на $\eta_{ад.\,к.}$ от разхода на въздуха V_1 за различни значения на оборотите (фиг. 61 *а*), да се прекарат хоризонтални сечения, съответствуващи на разни значения на $\eta_{ад.\,к.}$ След това точките, получени от пресичането на всяка секуща хоризонтална с кривите на к. п. д., които съответствуват на различни значения на оборотите, следва да се пренесат върху напорните характеристики на компресора и да се съединят. В резултат на това построяване върху характеристиките на компресора се получават редица затворени криви, които съединяват точките, в които к. п. д. на компресора има еднакви значения (фиг. 61 *б*).

Влияние на атмосферните условия и режима на полета върху работата на компресора

Характеристиките по разхода на въздуха показват как се изменят основните данни на компресора — неговата степен на сгъстяване и к. п. д. — в зависимост от обемния разход на въздуха и оборотите.

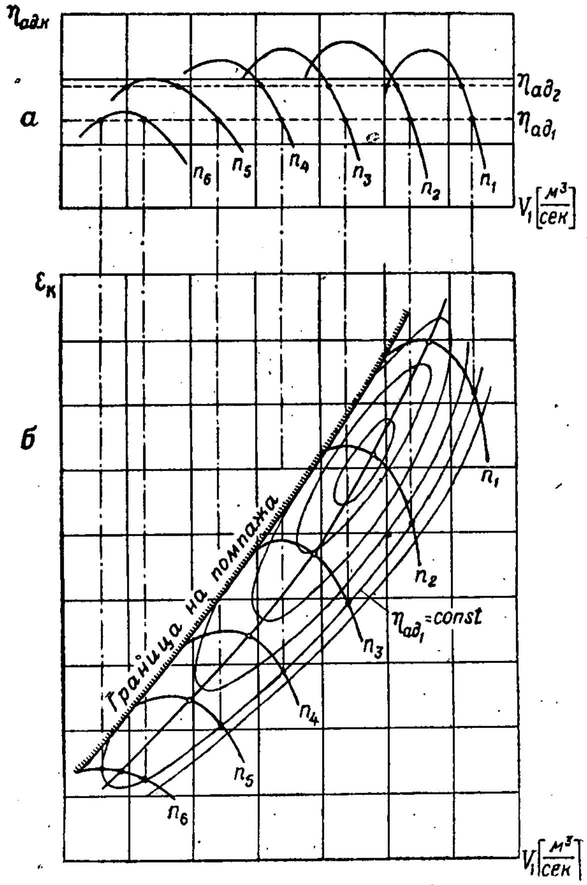
Освен това през време на експлоатацията на авиодвигателя може да се изменят атмосферните условия и режимът на полета. Да разгледаме влиянието на тези фактори върху работата на компресора и по-специално върху неговите характеристики. Ще считаме, че компресорът работи при постоянни обороти. Освен това ще приемем за определеност, че постоянството на оборотите съответствува на постоянен обемен разход на въздуха на входа. Това приблизително

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ще съответствува на условията на работа на компресора в системата на ТуРД.

От опити е установено, че при изменение на налягането на въздуха на входа в компресора налягането във всички други сечения на компресора се изменя пропорционално на налягането на входа, а температурата и скоростта се запазват постоянни. В този случай очевидно степента на сгъстяване и коефициентите на полезното



Фиг. 61. Изобразяване на линиите на постоянния к. п. д. на характеристиките на компресора

действие не ще се изменят, а тегловният разход на въздуха и мощността, необходима за въртенето на компресора, ще изменят пропорционално на изменението на налягането на входа в компресора.

Изменението на температурата на входа в компресора оказва по-значително влияние върху неговите параметри. То довежда особено до изменение степента на сгъстяване на компресора и неговия к. п. д.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

При намаляване на температурата на влизащия в компресора въздух степента на сгъстяване нараства, а к. п. д. обикновено малко намалява. Обратно явление се наблюдава при увеличаване на температурата T_1. Това се обуславя от следните причини.

При постоянни обороти и постоянен обемен разход на въздуха работата, изразходвана за въртенето на компресора, остава практически постоянна. Това условие се изпълнява, разбира се, приблизително — то в по-голяма степен е валидно за центробежния компресор, а в по-малка — за осевия. Приблизително постоянна се запазва и адиабатичната работа, равна на $L_{ад}=102{,}5T_1\ (\varepsilon_к^{0{,}286}-1)$. Ето защо колкото е по-ниска температурата на въздуха на входа на компресора, толкова по-висока е създаваната от него степен на сгъстяване.

Физически това се обяснява с факта, че студеният въздух полесно се поддава на сгъстяване.

Тегловният разход на въздуха, а следователно и мощността, изразходвана за въртенето на компресора, с намаляването на температурата на въздуха на входа значително се увеличава, което се обяснява с повишаването на плътността на въздуха.

Изменението на режима на полета оказва влияние върху работата на компресора също така благодарение изменението на температурата и налягането на постъпващия в него въздух. Така например с увеличаване скоростта на полета се повишават едновременно и температурата, и налягането на въздуха на входа в компресора (за сметка на неговото предварително сгъстяване от скоростния напор). Както беше отбелязано по-горе, увеличаването на температурата на въздуха, влизащ в компресора, води към намаляване на степента на сгъстяване, а увеличаването на неговата плътност — към увеличаване на тегловния разход и необходимата мощност.

С увеличаване височината на полета температурата и плътността на въздуха на входа в компресора се понижават. Това довежда до нарастване на степента на сгъстяване и до намаляване тегловния разход на въздуха и мощността, изразходвана за въртенето на компресора.

Адиабатичният коефициент на полезно действие в областта на режимите, близки до разчетния, с увеличаване на температурата на въздуха на входа обикновено леко се повишава. Това може да се обясни с факта, че при увеличаване на температурата се увеличава местната скорост на звука, която, както е известно, е $\approx 20\sqrt{T}$, поради което при постоянен обемен разход се намалява числото M във въздушния поток, минаващ през отделните елементи на компресора. Това води към понижаване на хидравличните съпротивления и към увеличаване на к. п. д.

При намаляване пък на температурата на въздуха, който влиза в компресора, неговият к. п. д., обратно, малко се понижава.

И тъй ние виждаме, че налягането и особено температурата на входа в компресора оказват голямо влияние върху неговите основни

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

данни. Ето защо и характеристиките по разхода на въздуха, снети при различни условия на входа, ще се различават една от друга. Това обстоятелство изисква привеждане на данните на изпитаните компресори към еднакви (нормални) атмосферни условия или използването за построяване на характеристиките на универсални координати, в които те ще си остават постоянни при всички изменения на атмосферните условия и режимите на полета.

Тъй като за основни величини при построяването на характеристиките се приемат степента на сгъстяване и к. п. д., които не се изменят при изменение на налягането на входа, налягането p_1 може да не бъде разглеждано. Ето защо при построяване на характеристиките е необходимо да се отчита само влиянието на температурата на входа T_1.

Ако в качеството на координати при построяване на характеристиките на компресора вместо оборотите n и обемния разход на входа V_1 вземем величините $\frac{n}{\sqrt{T_1}}$ и $\frac{V_1}{\sqrt{T_1}}$, оказва се, че характеристиките, построени в тези параметри, ще си остават постоянни при всички изменения на налягането и температурата на въздуха на входа в компресора, т. е. те ще станат универсални.

Да обясним защо параметрите $\frac{n}{\sqrt{T_1}}$ и $\frac{V_1}{\sqrt{T_1}}$ могат да служат като универсални координати при построяване характеристиките на компресора. За тази цел ще разгледаме въпроса за подобието на теченията на въздушните потоци в каналите, образувани от компресорните лопатки.

За подобието на теченията на въздушните потоци

Ще напомним преди всичко, че подобни течения са осъществими само в еднакви канали или в канали, геометрически подобни, т. е. такива, при които всички сходни размери са пропорционални един на друг.

Теченията в геометрически подобни канали ще бъдат подобни (аеродинамично) само в случай, че бъде осигурено подобие на всички сили, действуващи на въздуха. Като такива при движението на въздуха обикновено се явяват инерционните сили, налягането и триенето. Подобието на сили, действуващи на въздуха, означава, че в сходните точки (в елементите на обема) на две течения тези сили трябва да бъдат пропорционални, т. е. по-големи или по-малки еднакво число пъти.

В такъв случай токовите линии ще бъдат геометрически подобни, а скоростите на движение на въздуха в подобно разположените точки на разглежданите течения — пропорционални.

Най-прост пример на подобни течения в канали е показан на фиг. 62. Ако разгледаме скоростите на входа на канала и на изхода

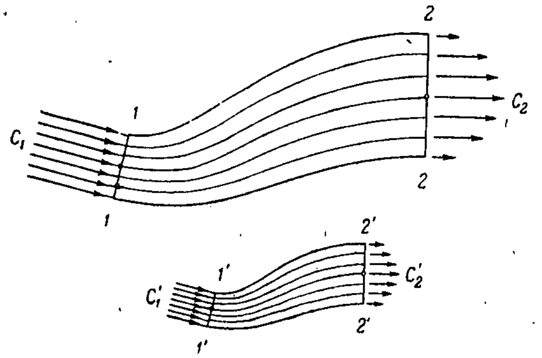
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

от него (в еднаквите точки например на осите на канала), посоченото условие за тяхната пропорционалност ще се напише така:

$$\frac{c_2}{c_1}=\frac{c_2'}{c_1'}.$$

Скоростите в съответните точки на подобните течения ще бъдат паралелни. Това непосредствено следва от геометрическото подобие на токовите линии.



Фиг. 62. **Подобни течения в канали**

От пропорционалността на силите на налягането следва, че и самите налягания в сходните точки на двете течения трябва да бъдат пропорционални, тъй като разглежданите сили се изразяват с произведението $f\Delta . p$, където Δf е елемент от повърхността, а p — действуващото върху него налягане. Специално за разглеждания пример (гледай фиг. 62) пропорционалността на наляганията ще се напише по следния начин:

$$\frac{p_2}{p_1}=\frac{p_2'}{p_1'}.$$

Аналогично съотношение при подобните течения може да се напише и за температурите на въздуха, т. е.

$$\frac{T_2}{T_1}=\frac{T_2'}{T_1'}.$$

По такъв начин подобните течения се характеризират с това, че при тях скоростите, наляганията и температурите в сходните точки са пропорционални.

Да разгледаме сега какви условия трябва да бъдат спазвани, за да са подобни теченията в геометрически подобните канали.

В зависимост от характера на силите, които действуват на течността (или газа), и от свойствата на самата течност тези условия могат да бъдат различни.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Специално за въздуха, който има много малък вискозитет, подобието на теченията се осигурява от подобието на скоростните триъгълници и равенството на числата M в кое да е негово сечение, например на входа на канала или на изхода от канала. Тогава и в останалите сходни точки на разглежданите потоци числата M ще бъдат равни, а скоростите, наляганията и температурите — пропорционални.

С тези условия може да се достигне само подобие на инерционните сили и силите на наляганията. Подобие обаче на силите на триенето с това още не се осигурява. За да се получи подобие и на силите на триене, необходимо е освен равенството на числата M да се съблюдава още и равенство на числата на Рейнолдс (**Re**). Обаче за въздуха (поради относително неголямата величина на силите на триене) влиянието на Рейнолдсовото число се пренебрегва. Това допускане, както показват опитите, не води към съществени грешки.

И така подобието на теченията на въздушните потоци се осигурява от подобието на скоростните триъгълници и от равенството на числата M във всяко характерно сечение на канала, например на входа.

В компресора има множество канали — както неподвижни, така и въртящи се. За подобие на потоците в неподвижните канали трябва да има равенство на числата M по абсолютната скорост на обтичащия поток, а във въртящите се канали — по относителната скорост на потока.

Въздухът при входа в компресора попада веднага в работното колело. За да се осигури подобие на въздушното течение в работното колело, трябва преди всичко да се осигури подобие на скоростните триъгълници и равенство на числата M на входа в каналите на колелото.

С това именно се осигурява равенството на двата параметра $\frac{n}{\sqrt{T_1}}$ и $\frac{V_1}{\sqrt{T_1}}$.

За доказателство ще се обърнем към фиг. 63, където са изобразени скоростните триъгълници на входа в колелото на центробежен и осев компресор за средния диаметър. За по-ясно ще разгледаме случая на осево подвеждане на въздуха. Както обикновено, с буквата c_1 са обозначени осевите скорости, с u_1 — окръжните скорости и с w_1 — относителните скорости на входовете в каналите, образувани от лопатките на колелото.

Скоростта c_1 е пропорционална на обемния разход на въздуха, тъй като при осево подвеждане $V_1 = c_1 f_1$. Окръжната скорост u_1 е пропорционална на оборотите, тъй като $u_1 = \frac{\pi D_1 n}{60}$, където D_1 е средният диаметър на колелото. Числото M_1 на входа в колелото се определя като отношение на скоростта w_1 към местната скорост на звука в сечението $1-1$ и е равно на

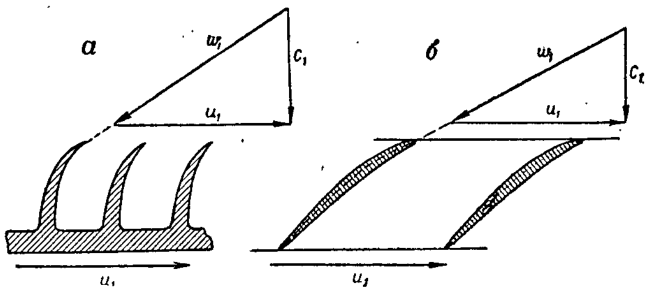
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

$$M_1=\frac{w_1}{a_1}\approx\frac{w_1}{20\sqrt{T_1}}.$$

Скоростта w_1 се явява хипотенуза на скоростния триъгълник на входа в колелото (гледай фиг. 63), поради което

$$w_1^2=u_1^2+c_1^2.$$



Фиг. 63. Скоростни триъгълници на входа в колелото на центробежен и осев компресор

Ако разделим това равенство на T_1, ще получим

$$\left(\frac{w_1}{\sqrt{T_1}}\right)^2=\left(\frac{u_1}{\sqrt{T_1}}\right)^2+\left(\frac{c_1}{\sqrt{T_1}}\right)^2. \qquad (16)$$

Величината $\frac{w_1}{\sqrt{T_1}}$ е пропорционална на числото M, а величините $\frac{u_1}{\sqrt{T_1}}$ и $\frac{c_1}{\sqrt{T_1}}$ са пропорционални на параметрите $\frac{n}{\sqrt{T_1}}$ и $\frac{V_1}{\sqrt{T_1}}$. Ето защо от уравнението (16) следва, че при постоянство на величините $\frac{n}{\sqrt{T_1}}$ и $\frac{V_1}{\sqrt{T_1}}$ ще остава постоянна и величината $\frac{w_1}{\sqrt{T_1}}$, а следователно и числото M_1 на входа в каналите на колелото. Скоростните триъгълници в този случай ще бъдат подобни, тъй като всичките им страни ще се изменят в едно и също отношение (пропорционално на $\sqrt{T_1}$.

С това се осигурява подобието на въздушните течения във въртящите се канали на работното колело.

Може да се докаже по-нататък, че теченията на въздуха в неподвижния лопатъчен апарат, който стои зад колелото, в разглеждания случай също ще бъдат подобни, понеже на входа в неговите канали скоростните триъгълници са подобни, а числата M са равни вече в абсолютното движение, т. е. по скоростта c_2.

По аналогичен начин подобието на теченията ще важи и за всички останали лопатъчни венци на компресора, което означава, че ще имаме подобие на режимите на работа на целия компресор.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Подобни течения може да има очевидно при еднаквите компресори или при геометрически подобните компресори. Последното обстоятелство може да служи като основа за намиране на характеристиките на компресора чрез изпитание на неговия намален модел.

Изобразяване характеристиките на компресорите в параметрите на подобието

И тъй ние видяхме, че постоянството на величините $\frac{n}{\sqrt{T_1}}$ и $\frac{V_1}{\sqrt{T_1}}$ осигурява подобие на въздушните течения в компресора, а следователно и подобие на неговите режими на работа. Ето защо те се наричат параметри на подобието.

Очевидно е, че при работа на компресора на подобни режими отношението на наляганията, скоростите и температурите на изхода и входа $\left(\frac{p_2}{p_1}, \frac{c_2}{c_1} \text{ и } \frac{T_2}{T_1}\right)$ се запазват еднакви, независимо от разликата в разходите на въздуха, в оборотите и в условията на входа. Еднакви ще бъдат при това също степента на сгъстяване на компресора и неговият к.п.д., тъй като те зависят само от отношенията на наляганията и температурите на входа и изхода. Ето защо, при каквито и условия да се изпитва компресорът, когато има равенство на параметрите $\frac{n}{\sqrt{T_1}}$ и $\frac{V_1}{\sqrt{T_1}}$, винаги ще се получат едни и същи значения за степента на сгъстяване и к.п.д. С това се доказва, че характеристиките на компресора, построени в координатите $\frac{n}{\sqrt{T_1}}$ и $\frac{V_1}{\sqrt{T_1}}$, не зависят от условията, при които те се снемат, т. е. те са универсални.

Вместо параметъра $\frac{V_1}{\sqrt{T_1}}$ често се използува пропорционалният му параметър $\frac{G\sqrt{T_1}}{p_1}$. Лесно се доказва, че $\frac{G\sqrt{T_1}}{p_1}$ се различава от $\frac{V_1}{\sqrt{T_1}}$ с постоянна величина.

В действителност от уравнението за разхода следва, че

$$G = V_1\gamma_1 = V_1\frac{p_1}{RT_1},$$

ето защо

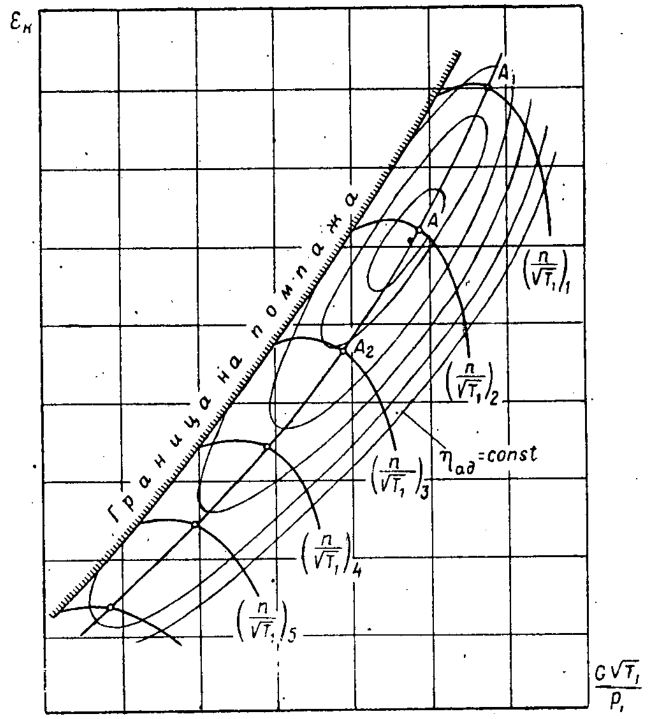
$$\frac{G\sqrt{T_1}}{p_1} = \frac{1}{R}\frac{V_1}{\sqrt{T_1}}.$$

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Ето защо съвършено безразлично е дали ще се вземе за параметър разходът $\frac{V_1}{\sqrt{T_1}}$ или $\frac{G\sqrt{T_1}}{p_1}$.

На фиг. 64 са изобразени характеристиките на компресор в параметрите на подобието. Тук по вертикалната ос е нанесена степента на сгъстяване на компресора $\varepsilon_к$, а по хоризонталната ос параме-



Фиг. 64. Характеристики на компресора в параметрите на подобие

търът на разхода $\frac{G\sqrt{T_1}}{p_1}$. Всяка крива от мрежата на характеристиките съответствува на постоянно значение на параметъра на оборотите $\frac{n}{\sqrt{T_1}}$.

При изменение на режимите на полета и атмосферните условия характеристиките, построени в параметрите на подобието, ще си остават постоянни, но положението на работната точка на характеристиката може да се изменя. Например при постоянни обороти и постоянен обемен разход на въздуха понижаването на температурата T_1 на входа на компресора ще доведе до увеличение на

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

$\frac{n}{\sqrt{T_1}}$ и $\frac{G\sqrt{T_1}}{p_1}=\frac{1}{\kappa}\frac{V_1}{\sqrt{T_1}}$ и работната точка ще премине в областта на по-високи степени на сгъстяване (от A в A_1, гледай фиг. 64). При повишаване на температурата на въздуха пред компресора параметрите $\frac{n}{\sqrt{T_1}}$ и $\frac{G\sqrt{T_1}}{p_1}$ ще се намаляват и работната точка ще премине в областта на по-малките степени на сгъстяване (от A в A_2).

В разгледания способ на построяване характеристиките на компресора всички параметри се свеждаха към условията на входа. Характеристиките, построени по този начин, не зависят от условията на влизането на въздуха в компресора и от загубите във входните устройства. Обаче в този случай за определяне на абсолютните значения на разхода на въздуха и оборотите по точка, зададена от характеристиката, трябва да знаем още и параметрите на входа в компресора (p_1 и T_1), намирането на които представлява известна трудност. Опитното получаване на такива характеристики също така представлява значителна трудност, тъй като при снемането на всяка опитна крива трябва да се поддържа постоянно не числото на оборотите, а параметърът $\frac{n}{\sqrt{T_1}}$.

Понякога снемат стендовите характеристики на компресора в параметри, отнесени към окръжаващите атмосферни условия. Такива характеристики дават зависимостта на общата степен на сгъстяване $\varepsilon_к=\frac{p_2}{p_0}$ от разхода $\frac{G\sqrt{T_0}}{p_0}$ при различни значения на параметъра на оборотите $\frac{n}{\sqrt{T_0}}$. Още по-често се използуват пропорционалните им параметри $n_{пр}=n_0\sqrt{\frac{288}{T_0}}$ и $G_{пр}=G_0\frac{760}{p_0}\sqrt{\frac{T_0}{288}}$, наречени **приведени обороти и приведен разход на въздуха.** Тези параметри са по-удобни поради това, че при работа на компресора на стенда при стандартни атмосферни условия те числено са равни на действителните значения на оборотите и разхода на въздуха.

Характеристиките на компресора, построени в зависимост от параметрите $n_{пр}$ и $G_{пр}$, са изобразени на фиг. 70.

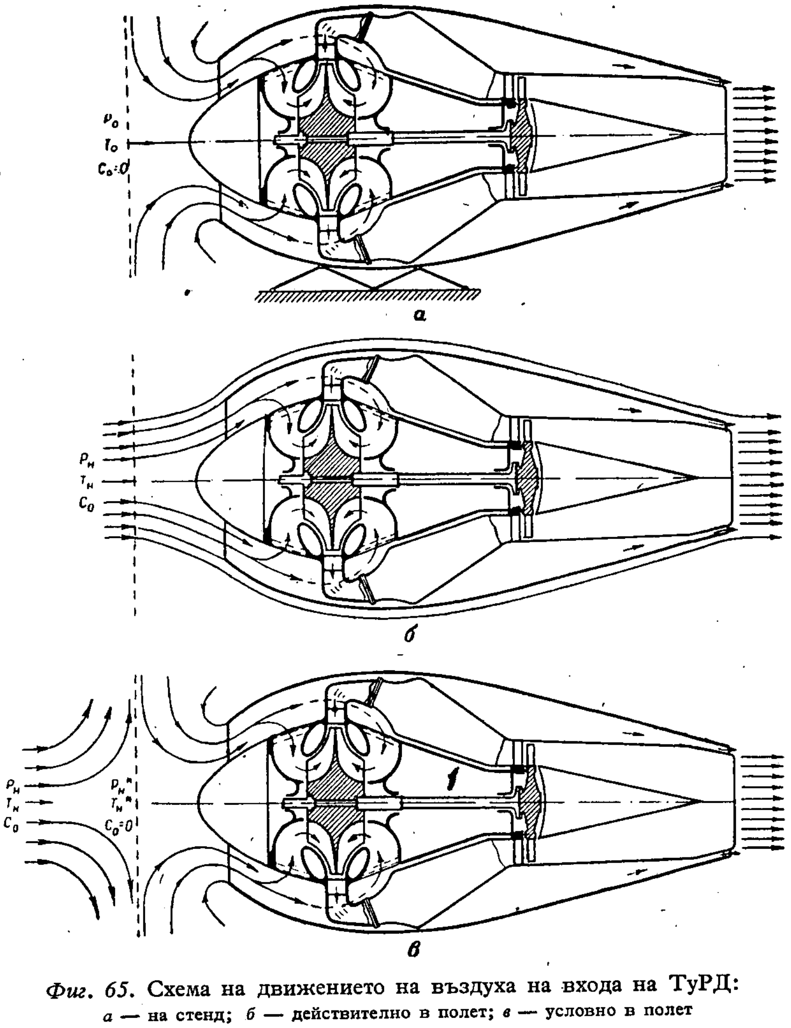
Посоченият начин на изобразяване на характеристиките е по-удобен, тъй като при него не се изисква да се знаят налягането и температурите на входа в компресора.

За да се реши въпросът, как с помощта на стендовите характеристики, построени в параметри, отнесени към окръжаващите атмосферни условия, могат да се определят данните на компресора в полет, ще разгледаме в какво се състои основното различие в условията на работа на компресора на стенда и в полет.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

На стенда компресорът засмуква въздух от неподвижната окръжаваща атмосфера (фиг. 65 *а*). Въздухът навлиза във входното устройство равномерно и от всички страни, при което неговата скорост постепенно се увеличава, а налягането и температурата се намаляват в сравнение с атмосферните.



Фиг. 65. Схема на движението на въздуха на входа на ТуРД:
а — на стенд; *б* — действително в полет; *в* — условно в полет

В полет въздухът се засмуква от насрещния въздушен поток. Въздушният поток, подхождайки към двигателя, се заприщва (гледай фиг. 65 *б*), поради което налягането и температурата му на входа стават по-високи, отколкото в окръжаващата атмосфера.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

По такъв начин условията на влизане на въздуха в компресора на стенд и в полет са различни: на стенда влизането на въздух в компресора се съпровожда с разширение, а в полет — със сгъстяване. Такива две течения не могат да бъдат подобни поради това, че при тях не е спазено условието за подобието на токовите линии.

За да направим подобна работата на компресора в полет и на стенд, можем мислено да си представим влизането на въздух в компресора в полет като състоящо се от два процеса: от пълно адиабатично заприщване на въздуха на известно разстояние пред компресора (двигателя) и от засмукване на въздуха като от неподвижна окръжаваща атмосфера, имаща налягането и температурата на адиабатично заприщения поток p^*_H и T^*_H (фиг. 65 *в*).

Ако процеса на влизането на въздуха в компресора в полет разглеждаме от сечението, където потокът напълно е заприщен, то този процес можем да считаме подобен на процеса на влизане на въздуха при стендово изпитание. Това изпитание обаче ще бъде валидно само ако загубите в разглежданите процеси се окажат приблизително еднакви.

При изпитанията на компресора на стенд загубите във входните канали са много малки и можем даже да считаме, че те напълно отсъстват. Ето защо както на стенда, така и в полет съпоставените режими (фиг. 65, *а* и *в*) трябва да се разглеждат като отнасящи се към случая, когато няма загуби във входните канали на самолета (тези загуби обикновено се отчитат отделно).

Налягането и температурата на адиабатично заприщения поток, както е известно от аеродинамиката, се определят по формулите

$$\left.\begin{aligned} T^*_H &= T_H + 5\left(\frac{c_n}{100}\right)^2 \\ p^*_H &= p_H\left(\frac{T^*_H}{T_H}\right)^{\frac{k}{k-1}} \end{aligned}\right\} \qquad (17)$$

Приведените обороти и приведеният разход на въздуха в полет се определят по следните формули:

$$n_{пр} = n\sqrt{\frac{288}{T^*_H}};\; G_{пр} = G\frac{760}{p^*_H}\sqrt{\frac{T^*_H}{288}}. \qquad (18)$$

Неустойчив режим на работа на компресора — помпаж

При намаляване на обемния разход на въздуха по-ниско от определено значение възниква, както вече се отбеляза, неустойчивост в работата на компресора, наречена помпаж. Помпажът се характеризира с появяването на периодични колебания на наляганията и скоростите на въздушния поток, минаващ през компре-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

сора, а също със своеобразен звук, несвойствен за компресора при нормални условия на работа. Средното налягане зад компресора пада. Обикновено явлението помпаж се съпровожда с периодично изтласкване на въздуха от компресора в колената му.

Помпажът е ненормално явление и неговото появяване трябва да се избягва в компресорите, използувани в авиационните ТуРД. При помпажа се нарушава правилната работа на двигателя и се намалява развиваната от него теглителна сила (мощност). В отделни случаи помпажът може да причини спиране на двигателя или преждевременното му излизане от строя.

Явлението помпаж е известно много отдавна и се наблюдава не само при авиационните центробежни и осеви компресори, но и в лопатъчните машини от други видове, използувани за сгъстяване на въздух.

Още първите наблюдения показват, че помпажът в компресора възниква при работата му на левите части на характеристиките, където намаляването на разхода на въздуха води до намаляване на степента на сгъстяване. Изхождайки от това, явлението помпаж дълго време се обясняваше само с характера на протичането на характеристиките на компресора. Считаше се, че ако компресорът работи на десните части на характеристиките, неговата работа ще бъде устойчива, а ако премине на лявата част, неговата работа става неустойчива.

Бързото развитие на компресорите с високо налягане, които работят както в буталните, така и в реактивните двигатели, наложи по-задълбочено изучаване на явлението помпаж.

Върху изследването на помпажа са посветени работите на редица съветски и чуждестранни учени. Това позволи дълбоко да се проникне в същността на това явление, да се установят причините за неговото възникване и да се изработят практически мероприятия по отстраняването му.

По съвременните схващания помпажът се предизвиква от появяването в отделните елементи на компресора на периодически откъсвания на въздушния поток със значителна интензивност.

Както вече се отбеляза, появата на откъсвания на въздушния поток в лопатъчния апарат на центробежните и осеви компресори е възможно при значително отклонение на режима на работа от разчетния. Ще обясним в какви случаи възникващите откъсвания на въздушния поток може да нарушат устойчивата работа на компресора. Да разгледаме този въпрос първо за центробежните компресори.

В центробежния компресор при значително отклонение на режима на работа от разчетния става откъсване на въздушния поток от предните ръбове на лопатките на работното колело и лопатъчния дифузор.

Това се обяснява с факта, че при отклонение на режима на работа на компресора от разчетния посоката на относителната скорост на въздуха w_1 не съвпада с посоката на предните ръбове

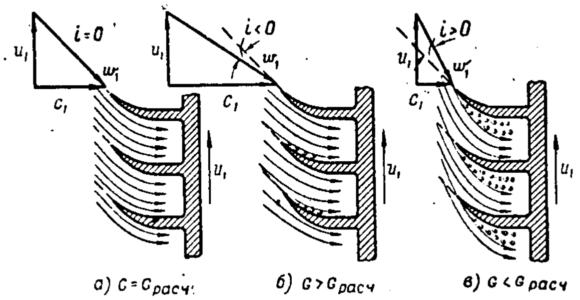
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

на лопатките на работното колело, а сключва с тях известен ъгъл i (фиг. 66). В зависимост от това, в каква страна става отклоняването на режима от разчетния, са възможни два случая на образуване на откъсване.

В първия случай, когато компресорът работи при разчетни обороти, но с разход на въздух повече от разчетния, или при разчетен разход на въздуха, но с понижени обороти, т. е. при условия $\frac{V_1}{n} > \left(\frac{V_1}{n}\right)_{разч}$, въздушният поток удря върху изпъкналата страна на лопатките. Върху вдлъбнатите страни се образува откъсване, което в този случай се локализира при входните ръбове и предизвиква само известно увеличаване на загубите, без да предизвиква особени изменения в работата на компресора. В този случай скоростният триъгълник на входа има вид, даден на фиг. 66 *б*.

При втория случай, когато компресорът работи с относителен разход на въздуха, по-малък от разчетния, т. е. $\frac{V_1}{n} < \left(\frac{V_1}{n}\right)_{разч}$, потокът удря върху вдлъбнатата страна на лопатката. Този случай е по-неблагоприятен, тъй като откъсването, което се образува на гърба на лопатката, прониква навътре в компресора.



Фиг. 66. Скоростни триъгълници на входа в работното колело на центробежен компресор при различни режими:
а — при разчетен режим; *б* — при разход, по-голям от разчетния; *в* — при разход, по-малък от разчетния

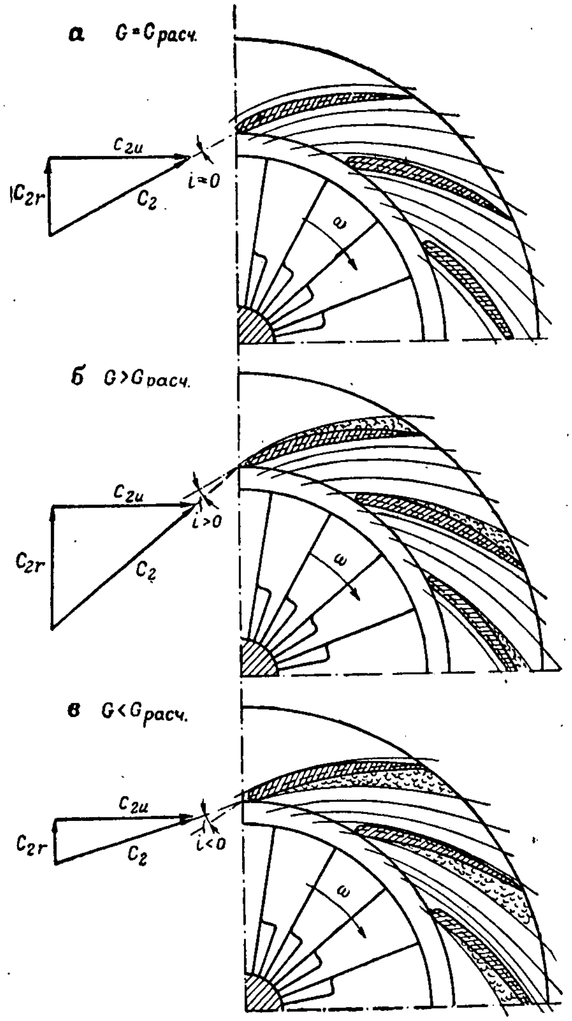
Скоростните триъгълници на входа и в дадения случай имат вид, даден на фиг. 66 *в*. С увеличаване на ъгъла на обтичането i откъсванията се усилват и при известна величина $i > i_{кр}$ те стават толкова значителни, че довеждат до възникване на помпаж.

Да разгледаме условията за образуването на откъсване на въздуха в лопатъчния дифузор (фиг. 67). Тук също така, както и при влизане на въздуха в работното колело, отклонението на режима на работа от разчетния води до несъвпадане на посоката на скоростта на въздуха c_2 с посоката на предните ръбове на лопатките на дифузора, което е свързано с образуването на откъсване на въздуха и с възникване на ударни загуби.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

При увеличаване на относителния разход на въздуха в сравнение с разчетния се получава удар на обтичащия поток върху вдлъбнатата страна на лопатката и откъсване на въздуха от изпъкналата страна (фиг. 67 *б*). Такова откъсване не нарушава работата на компресора, но води към увеличаване на загубите. Това се обяснява



Фиг. 67. Протичане на въздуха в лопатъчния дифузор на центробежен компресор при различни режими:
а — при разчетен режим; *б* — при разход, по-голям от разчетния; *в* — при разход, по-малък от разчетния

с факта, че ако нямаше лопатки, както вече се посочи по-рано, въздухът би се движел по полегати траектории (близки до лога-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ритмичните спирали), поради което при наличие на лопатки въздухът се притиска към тяхната изпъкнала страна и се стреми да се откъсне от вдлъбнатата страна (даже и на разчетен режим).

Поради това в разглеждания случай областта, където става откъсването, се оказва твърде незначителна.

Ако относителният разход на въздуха стане по-малък от разчетния, възникват периодични откъсвания на потока от вдлъбнатите страни на дифузорните лопатки (фиг. 67 *в*). С увеличаване на ъгъла на отклонение на въздушния поток от разчетния откъсванията бързо се развиват и скоро започват почти напълно да заемат каналите между лопатките. Получава се нещо като периодично повтарящо се мигновено „запушване" на компресора, което предизвиква помпажа. В този случай е възможно изтласкване на въздух през областта, запълнена с вихри, в посока, обратна на движението на въздуха. Това се обяснява с факта, че в разглежданите условия на обтичане на профилите на лопатките се увеличава действителната дифузорност на потока и разликите в наляганията в дифузора стават твърде значителни.

В осевия компресор помпажът възниква вследствие откъсването на въздушния поток от лопатките на работните колела и изправящите апарати.

Схемата на обтичане на лопатките на работното колело и изправящия апарат при значително увеличение и намаление на разхода на въздуха в сравнение с разчетния е изобразена на фиг. 68 и 69.

При относително повишаване на разхода на въздуха в сравнение с разчетния (когато осевата скорост се повишава по-бързо, отколкото окръжната) ъгълът β_1 нараства. Ъгълът i на обтичането на лопатките от въздушния поток става отрицателен (гледай фиг. 68). Въздушният поток удря в този случай върху изпъкналите повърхности на предните ръбове на лопатките, поради което е възможно откъсването му от изпъкналите повърхности. Обаче лопатката със своята изпъкнала повърхност е обърната към страната на движението и на нея всякога има повишено налягане, което благоприятствува за намаляване на откъсването.

Освен това разликата в наляганията върху решетката на профилите при отрицателни ъгли на обтичане от потока е твърде малка и даже в този случай при наличие на зони на откъсвания обратни протичания на въздуха не възникват.

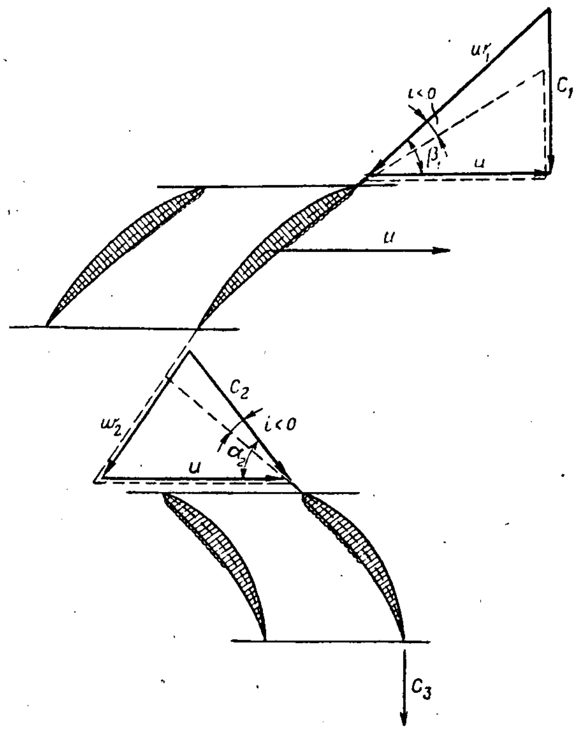
При относително намаляване на разхода на въздуха в сравнение с разчетния (когато осевата скорост се намалява по-бързо, отколкото окръжната), ъгълът β_1 става по-малък, отколкото на разчетен режим, а ъгълът на обтичането се увеличава. Въздушният поток сега удря върху вдлъбнатата повърхност на лопатката и поради това се получава откъсване от изпъкналата повърхност (гледай фиг. 69).

Трябва да се отбележи, че каналът, образуван от лопатките, има криволинейна форма. Като се движи по него, въздушният поток по инерция се стреми да се откъсне от неговата изпъкнала

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

страна и да се притисне към вдлъбнатата. Ето защо условията за образуване на откъсвания от изпъкналата страна се оказват по-благоприятни. При достатъчно голямо отклонение на посоката на потока от разчетната образувалите се зони на откъсване на въздушния поток стават значителни, което води към нарушаване на нормалното протичане на въздуха.



Фиг. 68. Обтичане на лопатките на работното колело и изправящия апарат на една от степените на осевия компресор при разход на въздух, по-голям от разчетния

Трябва да се каже, че в разглежданите условия на обтичане, т. е. при големи ъгли на обтичане на профилната решетка от въздушния поток, върху нея възникват значителни разлики в наляганията. Ето защо е възможно изхвърляне на въздух през завихрената област и от зоната с по-високи налягания в зоната с по-ниски налягания, т. е. в посока, обратна на неговото движение.

Аналогична картина на образуване и развиване на откъсването на потока може да се наблюдава и в изправящите апарати (гледай фиг. 68 и 69).

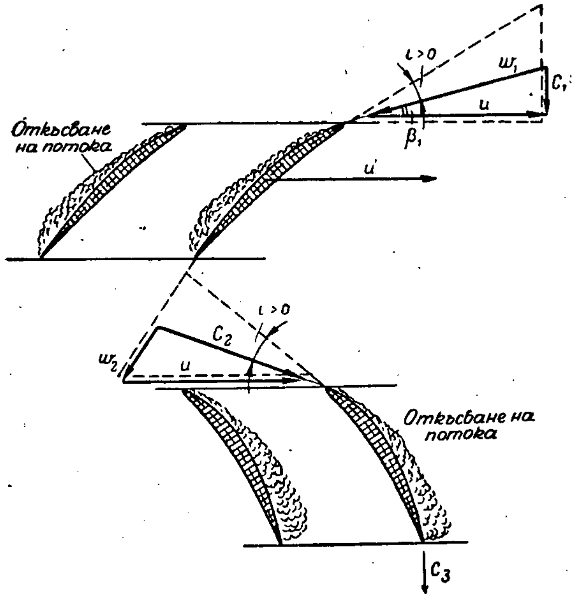
От казаното следва, че източник за помпажа в авиационните двигатели е компресорът. Появяване на помпаж е възможно

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

при относително малки разходи, когато възникват силно развити откъсвания на въздушната струя в някои от елементите на компресора.

Трябва да отбележим, че възникването на режим на откъсване при обтичане на един елемент от компресора води към нарушаване на нормалното протичане на въздуха и към възникване на откъсвания и в другите негови елементи.



Фиг. 69. Обтичане на лопатките на работното колело и изправящия апарат на една от степените на осевия компресор при разход на въздуха, по-малък от разчетния

Особено голямо влияние оказва върху поддържането и развитието на колебателния процес, който възниква при помпажа, дължината на входните и изходните тръбопроводи.

В заключение трябва да се отбележи, че съществуващите схващания за физическата природа на явлението помпаж не са окончателни и изискват по-нататъшно уточняване.

Условия за възникване на помпаж в компресорите на турбо-реактивните двигатели

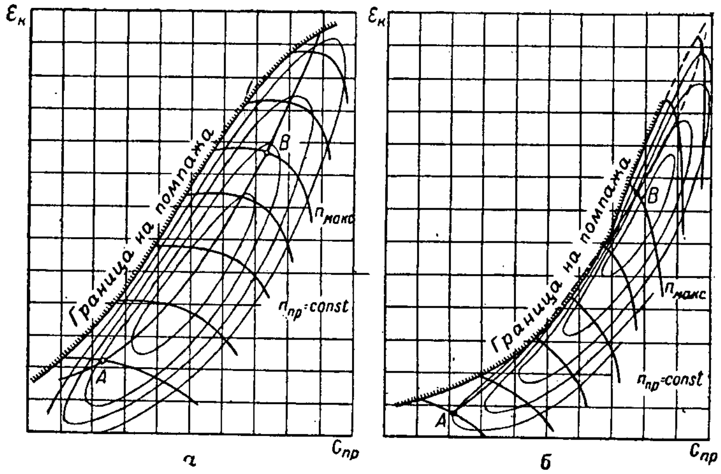
В компресорите, работещи в системата на ТуРД, помпаж може да възникне на режими, при които експлоатационната характеристика пресича в някоя точка границите на помпажа. Взаимното разположение на експлоатационната характеристика и границите на помпажа зависи от типа на компресора, от системата, на която той работи, от начина на регулирането му и от редица други условия.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Най-типичните случаи на взаимно разположение на експлоатационните характеристики и границите на помпажа при центробежния и осевия компресор на ТуРД са показани на фиг. 70. Разчетният режим на работа на компресора е отбелязан на експлоатационните криви с точката *B*.

Както се вижда от тази фигура, експлоатационната крива близо до разчетния режим минава на известно разстояние от границата на помпажа. Но с отклонението от разчетния режим както в страна на увеличаването, така и в страна на намаляването на оборотите тя се приближава към границата на помпажа. Точката на пресичането на последната с експлоатационната крива ще съответствува на началото на възникването на помпаж в компресора на ТуРД.



Фиг. 70. **Взаимно разположение на експлоатационната характеристика и границата на помпажа в компресорите на ТуРД:**
а — при центробежен компресор; *б* — при осев компресор

Това в еднаква степен важи както за осевите, така и за центробежните компресори, обаче трябва да отбележим, че в едностепенните центробежни компресори с радиални лопатки, които имат широко приложение сега, помпаж при приведените обороти, по-малки от разчетните, на равновесните режими обикновено не се наблюдава. Това се обяснява със сравнително ниските значения на разчетните степени на сгъстяване на тези компресори.

Възможността за появяване на помпаж в осевия компресор при значително отклонение на режима на работата му от разчетния може да се обясни по следния начин.

При преминаване на въздуха през осевия компресор плътността му се увеличава, поради което площите на проходните сечения на последните степени трябва да се правят значително по-малки, отколкото на първите.

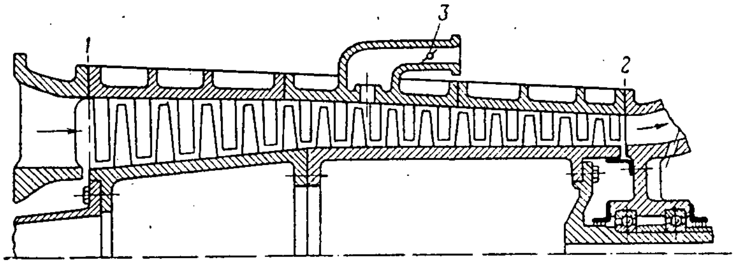
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Благодарение на такава форма на проточната част (фиг. 71) може да се получи желаното разпределение на осевите скорости на въздуха по дължината на компресора и оптимални условия на работа за всяка отделна степен (при едностепенния компресор — за отделните му елементи).

Трябва обаче да се отбележи, че пълно съответствие между площите на проходните сечения и плътностите на минаващия през тях въздух може да се получи само на разчетен режим. На неразчетните режими отношението на плътността на въздуха на изхода от компресора към плътността на входа ще се изменя. При постоянни площи на проходните сечения това води до преразпределение на осевите скорости по дължината на проточната част на компресора и до значително отклонение на работните режими на първите и последните степени (за едностепенния компресор — на неговите елементи, разположени на входа и изхода) от оптималния.

Ще разгледаме отначало условията за възникване на помпаж в многостепенния осев компресор. Да напишем уравнението за разхода на въздуха за сеченията *1—1* и *2—2* (гледай фиг. 71).



Фиг. 71. Схема на осев компресор с изпускане на въздух от средните степени в атмосферата:

1 — сечение при влизане на въздуха в компресора; *2* — сечение при излизане на въздуха от компресора; *3* — клапа за изпускане на въздух от средните степени в атмосферата

$$G = f_1 c_{1a} \gamma_1 = f_2 c_{2a} \gamma_2.$$

От това уравнение получаваме следното условие за непрекъснатостта на течението

$$\frac{\gamma_2 c_{2a}}{\gamma_1 c_{1a}} = \text{const}. \quad (19$$

Като заменим отношението на плътностите чрез отношението на наляганията от уравнението на политропата

$$\frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{n}} = \varepsilon_к^{\frac{1}{n}},$$

ще получим

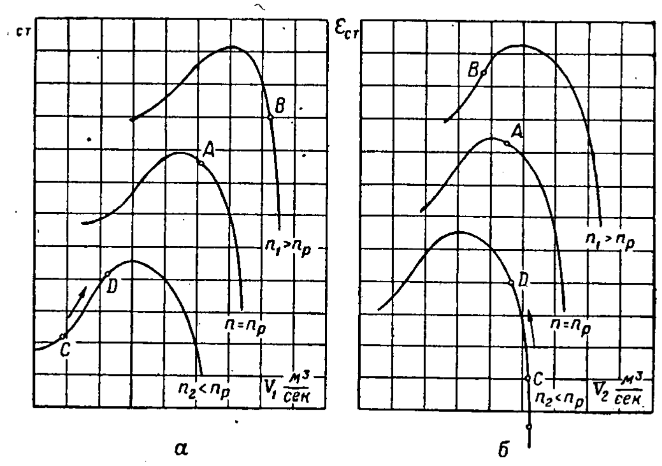
$$\varepsilon_к^{\frac{1}{n}} \frac{c_{2a}}{c_{1a}} = \text{const}. \quad (20)$$

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Това условие показва, че изменението на степента на сгъстяване на въздуха в компресора задължително трябва да се съпровожда със съответното изменение на осевите скорости (на обемните разходи).

При работа на компресора на обороти, по-малки от разчетните, неговата степен на сгъстяване се намалява. При това налягането и плътността на въздуха в последните степени се понижават, а в първите малко се повишават в сравнение със значенията им на разчетен режим. Това предизвиква намаляване на отношението на плътностите $\frac{\gamma_2}{\gamma_1}$. Площите на проходните сечения на първите и особено на последните степени се оказват несъответствуващи на изменената плътност на въздуха.



***Фиг. 72.* Характеристики на степените на осев компресор:**
а — първа степен; б — последна степен

Ако през първата степен въздухът минава свободно, проходните сечения на последните степени за въздух с по-малка плътност стават доста тесни. Това води, както следва от формулите 19 и 20, към увеличаване на отношението на скоростите $\frac{c_{2a}}{c_{1a}}$. Поради тази причина обемният разход на въздуха през последните степени може даже да се увеличи, а на първите значително да се намали в сравнение с разчетния. Получава се отклонение на режимите на работа на първата и последната степен от разчетния.

Изменението на режимите на работа на първите и последните степени може винаги да се проследи по-нагледно по характеристиките им.

На фиг. 72, *а* и *б* са показани характеристиките на първата и последната степен на многостепенен осев компресор. Разчетните режими на работа на степените са отбелязани на тези характеристики

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

с точката A. Точките C съответствуват на режимите на работа на компресор с приведени обороти, по-малки от разчетните.

Последната степен, в която обемният разход на въздуха расте, минава на дясната част на своята характеристика. Затова нейната степен на сгъстяване и к. п. д. рязко падат. При значително отклонение от разчетния режим е възможно даже преминаване на една-две от последните степени в област с отрицателни налягания. В този случай въздухът в тях вече не ще се сгъстява, а ще се разширява. Такъв режим на работа на компресорните степени е прието да се нарича турбинен.

Характеристиката на последната степен близо около точката C, както се вижда на фиг. 72, става почти вертикална. Това се дължи на факта, че с нарастването на обемния разход на въздуха скоростта му в тесните сечения на каналите, образувани от лопатките, постепенно се приближава до скоростта на звука. Когато скоростта на потока достигне скоростта на звука (числото M стане равно на единица), става „запушване" на проточната част на последната степен на компресора. Ето защо по-нататъшното увеличаване на обемния разход на въздуха става невъзможно.

Такова дроселиращо действие на последните степени води към значително намаляване на обемния разход на въздуха на първите степени. Първите степени преминават на левите части на своите характеристики, което също така се съпровожда с рязко падане на налеганията им и к. п. д. и води в края на краищата към появяването на помпаж.

Характерно е, че преминаването само на първата степен на режим, съответствуващ на лявата част на характеристиката, още не води до появяване на помпаж (макар при изпитанието на изолирана степен на тези режими да се наблюдава помпаж). Помпаж започва да се чувствува едва след като започнат да работят на левите части на характеристиките (в неустойчивата зона) няколко степени.

Рязкото изменение на характера на протичането на въздуха в първите и последните степени още преди появяването на помпаж води към влошаване на тяхната работа, което се изразява в рязко падане на степента на сгъстяване и к. п. д. в зависимост от оборотите, и то толкова по-значително, колкото е по-голяма степента на сгъстяване в компресора на разчетен режим. Ето защо при компресори за високи налягания характеристиките по оборотите са по-стръмни, отколкото при компресори за по-ниско налягане.

На фиг. 73, *а* и *б* са показани характеристиките на два осеви компресора, имащи различни степени на сгъстяване, на разчетен режим, който е приет условно за сто процента.

От сравнението на тези характеристики се вижда, че помпаж при компресори за високо налягане възниква при относително по-големи обороти в сравнение с разчетните, отколкото при компресори с ниско налягане. Ето защо осевият компресор на ТуРД с висока разчетна степен на сгъстяване почти в целия диапазон на обороти, по-малки от разчетните, работи неустойчиво.

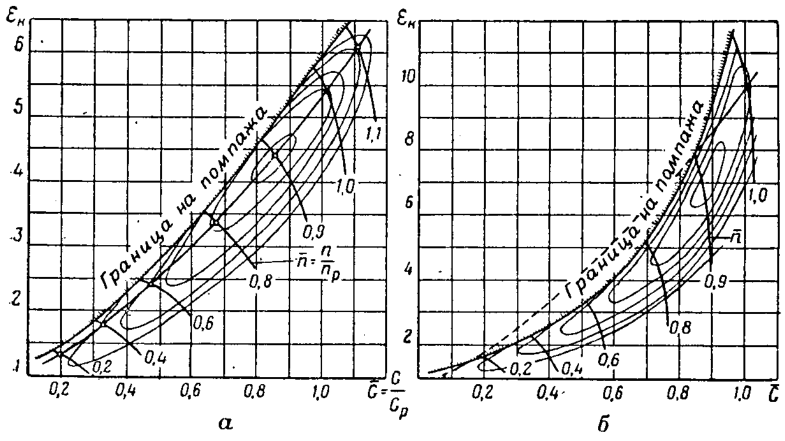
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Помпаж в осевия компресор може да възникне и когато неговата степен на сгъстяване стане значително по-голяма от разчетната. Това се получава, когато ТуРД работи при големи приведени обороти.

Увеличаването степента на сгъстяване в сравнение с разчетната води, както се вижда от формулата (20), до намаляване на отношението на осевите скорости $\frac{c_{2z}}{c_{1a}}$. То се намалява главно за сметка на понижаването на скоростта c_{2a} на изхода от компресора, тъй като възможното увеличаване на скоростта c_{1a} на входа се оказва незначително.

Това се обяснява с факта, че допустимата величина на скоростта на въздуха на входа на първата степен на компресора на разчетен режим е много голяма. Ето защо при незначително нарастване тя бързо достига скоростта на звука и по-нататъшното ѝ увеличаване става невъзможно.



Фиг. 73. Характеристики на осеви компресори с различни степени на сгъстяване на различен режим:

а — при ниска степен на сгъстяване; *б* — при висока степен на сгъстяване

От този момент първата степен като че ли „запушва" входа на компресора и води към още по-значително намаляване на осевата скорост и обемния разход на въздуха през последните степени.

Посоченото обстоятелство може да доведе до появяването на помпаж в последните степени.

Трябва да отбележим, че възникването на помпаж на режими, при които степента на сгъстяване превишава значително разчетната, се явява най-типично за центробежните компресори.

В този случай помпажът се предизвиква от появяването на откъсване на въздушния поток от лопатъчния дифузор за сметка на намаляването на радиалната скорост, а следователно и на обемния разход на въздуха.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

На режими, които съответствуват на степени на сгъстяване, по-малки от разчетната, би трябвало да се очаква появяване на помпаж в центробежния компресор поради възникване на откъсване на въздушния поток от предните ръбове на лопатките на работното колело. Това обаче в експлоатацията не се наблюдава, което се обяснява с ниските разчетни значения на степените на сгъстяване на съвременните центробежни компресори.

Да разгледаме при какви режими на полет е възможно появяването на помпаж в компресорите на ТуРД.

Приведеното число на оборотите съгласно формулите 17 и 18 е равно на

$$n_{пр}=n\sqrt{\frac{288}{T_H^*}}=n\sqrt{\frac{288}{T_H+5\left(\frac{c_0^2}{100}\right)}}, \tag{21}$$

където T_H е температурата на зададената височина на полета.

В центробежните компресори помпаж е възможен при значително увеличаване на приведените обороти.

Както се вижда от формула 21, $n_{пр}$ ще достигнат най-големи значения при максимални обороти, малки скорости на полета и ниски температури на окръжаващия въздух. *Следователно в разглеждания случай възникването на помпаж е най-вероятно зимно време при полет на големи височини с малки скорости и на максимални обороти.* Характерен пример на такъв режим може да бъде набирането на височина.

За да се предотврати помпажът, появил се при полет на големи височини, трябва да намалим $n_{пр}$. Намаляването на $n_{пр}$ може да бъде постигнато, както се вижда от формула 21, чрез понижаване на оборотите на двигателя, увеличаване на скоростта и намаляване височината на полета (увеличаване на температурата T_H).

В осевите компресори опасни от гледна точка на появяването на помпаж се явяват такива режими, при които приведените обороти значително се намаляват. Както се вижда от формула 21, намалението на $n_{пр}$ е възможно при полет на големи скорости или при значително понижение на оборотите.

Регулиране на компресорите на турбо-реактивните двигатели

Регулирането на компресорите на ТуРД се прилага, когато трябва да се измени режимът на работа на двигателя за предотвратяване на помпажа, а също така и за подобряване работата на компресора на неразчетните режими.

Регулирането на центробежните компресори на ТуРД през време на експлоатацията им се осъществява обикновено само с изменението на оборотите. Други начини за регулиране (например изменение на входните сечения) се прилагат твърде рядко. Трябва да споменем само за възможността за изпускане на въздух от компресора в атмо-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

сферата с цел отстраняването на помпажа при големи приведени обороти, а също за целесъобразността от употребата в някои случаи на подвижни (завъртващи се) лопатки на дифузора за подобряване работата му на неразчетните режими.

Експлоатацията на осевите компресори с високо налягане на ТуРД без специални регулиращи устройства в редица случаи се оказва въобще невъзможна поради появяването на помпаж в широк диапазон на обороти, по-малки от разчетните. В този случай се изисква регулиране най-напред за осигуряване пускането на двигателя и извеждането му на разчетен режим, а също за подобряване на преходността му.

Един от най-простите начини, осигуряващи излизането на компресора с високо налягане на разчетен режим, е изпускането на въздух от едно или няколко сечения в атмосферата или във входа на компресора.

Схема на компресор с изпускане на въздух от средната степен в атмосферата е изобразена на фиг. 71.

Изпускането на въздух увеличава чувствително обемния разход през първите степени, които при понижени обороти работят на левите части на своите характеристики. В резултат на това те се извеждат от зоната на неустойчивата работа, а също се увеличават степента на сгъстяване и к. п. д. Както се вижда от фиг. 72 *а*, първата степен на компресора преминава в този случай от режима, отбелязан с точката C, на режим, който съответствува на точка D.

Повишаването на степента на сгъстяване на първите степени предизвиква увеличаване на налягането и плътността на въздуха в последните степени, които работят на десните части на характеристиките (близко до режима на нулевото налягане). Във връзка с това обемният разход на въздуха на последните степени се намалява и те също преминават на режими, съответствуващи на по-високи значения на степените на сгъстяване и к. п. д. По-конкретно, последната степен, както се вижда от фиг. 72 *б*, преминава на режима, отбелязан с точката D, което се съпровожда със значително повишаване на нейната степен на сгъстяване.

По такъв начин изпускането на въздух не само отстранява помпажа при обороти, по-малки от разчетните, но и позволява също да се повиши степента на сгъстяване и адиабатичният к. п. д. при неразчетни режими.

Регулирането на осевия компресор може да бъде осъществено също така и чрез завъртване лопатките на направляващите апарати на една или няколко степени.

Теоретически със завъртването на всички направляващи апарати всяка степен може да се нагоди към новите условия на обтичане и с това нейната работа да се приближи към разчетния режим.

За да се види по какъв начин се достига това, ще се обърнем към фиг. 74 и 75.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

На фиг. 74 е показано как се изменя режимът на обтичането на работните лопатки, ако направляващият апарат остава неподвижен, а осевите съставни на скоростта се изменят. Посоката на въздушния поток на изхода от направляващия апарат практически се запазва постоянна, защото — както е показано на фиг. 74 — се изменя ъгълът на обтичането на лопатките на колелото от въздуха. Случаят *а* съответствува на обтичането на лопатките на работното колело на разчетен режим, случаят *б* — при обем на разхода, по-малък от разчетния, случаят *в* — при обем на разхода, който превишава разчетния.

От фиг. 75 се вижда, че с помощта на завъртване на направляващите лопатки може да се постигне (за сметка на съответното изменение на посоката на въздушния поток) запазване на оптималния режим на работните лопатки при изменение на обемния разход на въздуха.

Обаче едновременното завъртване на всички направляващи лопатки води към значително конструктивно усложняване на компресора. Това не е целесъобразно, тъй като режимът на работа на средните степени малко се отклонява от разчетния. Ето защо достатъчно е да се ограничим със завъртването на направляващите апарати само на няколко от първите и последните степени (една-две).

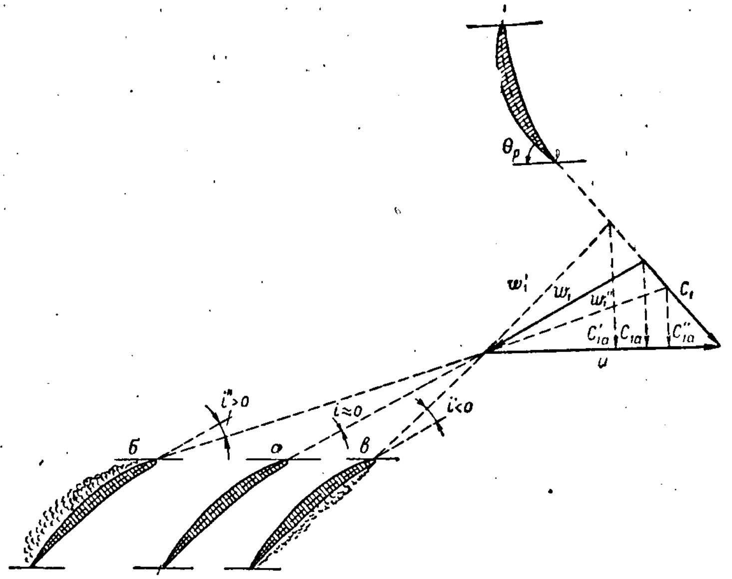
Със завъртването на направляващите апарати на първите степени при обороти, по-малки от разчетните, може да се намалят ъглите на обтичане на лопатките от въздушния поток и с това да се измести границата на помпажа в областта на по-малките разходи. Със завъртването на направляващите апарати на последните степени може да се отстрани режимът на запушване. На обороти, по-големи от разчетните, функциите на завъртващите се лопатки на първите и последните степени си сменят местата.

В редица случаи известен ефект в регулирането на осевия компресор може да се получи с използването само на един направляващ апарат, разположен на входа в компресора. Това се обяснява с факта, че именно на първата степен най-често възниква помпаж. Освен това задаването на параметрите на въздуха на входа на първата степен се явява определящо за работата на всички останали степени.

В заключение трябва да се каже, че необходимостта от регулиране на осевия компресор значително усложнява неговата конструкция и води до редица експлоатационни неудобства. Това става особено неудобно при много високите степени на сгъстяване на компресорите, когато е необходимо използването едновременно на изпускане на въздуха от няколко сечения и завъртване на лопатките на няколко степени. В такива случаи е целесъобразно да се използуват двувалови компресори, т. е. два последователно разположени компресора, всеки от които има независим превод от отделна турбина (фиг. 76).

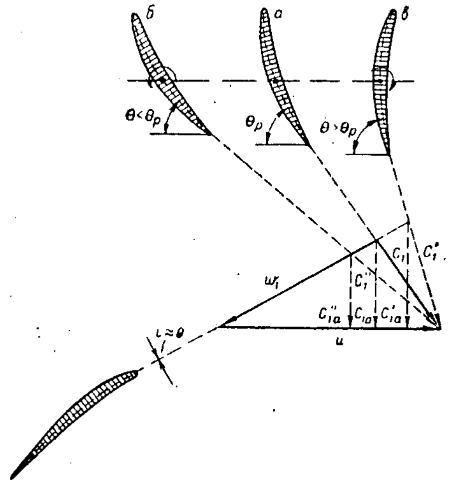
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6



Фиг. 74. Изменение на скоростта на въздуха на входа в работното колело на осев компресор на различни режими при неподвижен изправящ апарат:

а — при разчетен режим; *б* — при разход, по-малък от разчетния; *в* — при разход, по-голям от разчетния



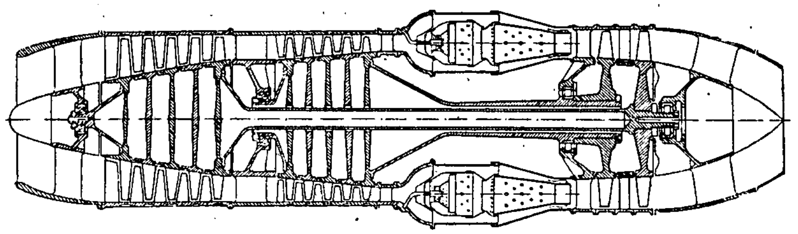
Фиг. 75. Изменение на скоростта на въздуха на входа в работното колело на осев компресор на различни режими при регулируем изправящ апарат:

а — при разчетен режим; *б* — при разход, по-малък от разчетния; *в* — при разход, по-голям от разчетния

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Наред с другите преимущества, които тук няма да засягаме, такъв компресор ще работи значително по-добре на неразчетните режими и не изисква (до определена степен на сгъстяване) специално регулиране.



Фиг. 76. Схема на ТуРД с два последователно разположени компресора

В този случай един компресор с високо налягане се заменя с два компресора с по-малки налягания, имащи по-благоприятни характеристики. При пускане и извеждане на режим вторият компресор по-бързо ще набира обороти, отколкото първият. Това се обяснява с факта, че на понижени режими разширението на газа от турбината става почти напълно в нейната първа степен и мощността, развивана в първата степен на турбината, се оказва много по-голяма, отколкото във втората.* В резултат на това първият компресор ще работи при относително по-голям разход на въздуха (за сметка на просмукването през него на въздуха от втория компресор) и с относително по-малки обороти. При такива условия в първите степени на компресора няма да има помпаж.

* Подробно за това гледай „Характеристики на авиационната газова турбина“, стр. 128.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Доцент, кандидат по техническите науки
инженер-майор Л. П. АЛЕКСЕЕВ

УСТРОЙСТВО И РАБОТА НА АВИАЦИОННАТА ГАЗОВА ТУРБИНА

Газовата турбина представлява машина-двигател, в която топлинната и кинетичната енергия на газа, минаващ през нея, частично се преобразуват в механическа работа с помощта на въртящ се лопатъчен апарат. В сравнение с другите типове двигатели газовата турбина има редица преимущества, основни от които са: простота и сигурност на конструкцията, висок к. п. д., възможност за получаване на големи мощности от един агрегат при сравнително малко тегло и размери. Тези качества на газовата турбина ѝ определиха широко приложение в ТуРД и ТВД за задвижване на компресора, витлото и спомагателните агрегати.

Схема и принцип на действие на газовата турбина

В авиацията получи широко приложение осевата едностепенна газова турбина, принципната схема на която е дадена на фиг. 77. Основните ѝ елементи са сопловият апарат *а* и работното колело *б*. Сопловият апарат представлява неподвижен ред от лопатки, разположени радиално между два съосни цилиндрични пръстена. Работното колело на турбината се състои от диск, по периферията на който са разположени работните лопатки. Работното колело се закрепва към вала на турбината и заедно с него образува въртящата се част — ротора на турбината.

Към турбината се подвежда газ, предварително сгъстен от компресора и нагрят в горивната камера. Минавайки през турбината, газът се разширява, извършвайки при това работа. Работата от разширението на газа частично се преобразува от въртящите се работни лопатки в механическа работа на вала на турбината, а частично отива за увеличаване на кинетичната енергия на газа и за преодоляване на различните загуби.

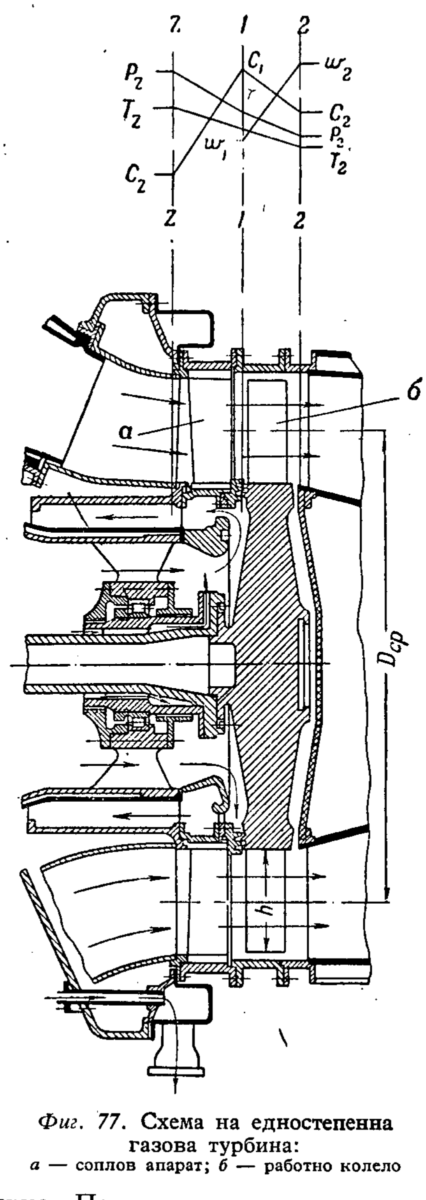
На фиг. 77 са показани основните размери на турбината (h — височина на лопатките, $D_{ср}$ — среден диаметър на турбината), и график за изменението на скоростите и параметрите на състоянието на газа: налягането p и температурата T по дължината на турбината. Характерните сечения по дължината на турбината на графика са обозначени: на входа в сопловия апарат на турбината със $Z—Z$, на изхода от сопловия апарат с $1—1$ и на изхода от ра-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ботното колело с 2—2. Параметрите на газа в различните сечения са отбелязани с индекси в съответствие с номерацията на сеченията.

Да разгледаме измененията на скоростта и параметрите на състоянието на газа на различните участъци от турбината, а така също работата на газа върху лопатките на колелото. За тази цел да разсечем лопатките на турбина с цилиндрична повърхност, оста на която съвпада с оста на турбината, и след това да разгънем това сечение в плоскост. На фиг. 78 са показани получените по такъв начин сечения на сопловия апарат във вид на неподвижен ред лопатки и работните лопатки, движещи се относно първите със скорост, равна на окръжната скорост на радиуса на сечението. На входа на сопловия апарат газовият поток се движи в осево направление със скорост, която достига до 200 *м/сек*. Налягането пред турбината се определя от степента на сгъстяване на въздуха в двигателя, а температурата при неохлаждани лопатки не превишава 850—900°С.



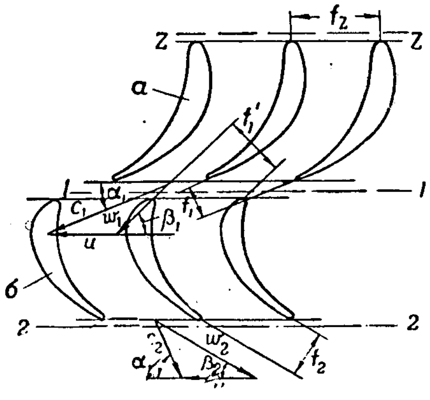
Фиг. 77. Схема на едностепенна газова турбина:
а — соплов апарат; *б* — работно колело

Лопатките на сопловия апарат, както се вижда от фиг. 78, образуват криволинейни канали, които се стесняват от сечението Z—Z към сечението 1—1 ($f_Z > f_1$), поради което газовото течение на този участък се съпровожда с падане на налягането и съответно с увеличаване на скоростта (до 500—650 *м/сек*). Температурата на газа при това пада. Посоката на потока на изхода от сопловия апарат се определя от направлението на изходните ръбове на сопловите лопатки и сключва с плоскостта на въртенето на колелото ъгъла α_1. В турбините на ТуРД α_1 е равен на 22—32° за средния радиус. По такъв начин в сопловия апарат газът се завъртва и едновременно става частично преобразуване на енергията на налягането в кинетична енергия на изтичащата струя.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Да разгледаме движението на газа относно движещите се работни лопатки. Затова ще разложим абсолютната скорост на газа c_1 на две съставни, едната от които е равна на окръжната скорост u. Очевидно е, че векторът w_1, равен геометрически на разликата от абсолютната скорост на изтичането c_1 и окръжната скорост u, определя скоростта на движение на газа относно работните лопатки. Както се вижда от фиг. 78, величината и посоката на относителната скорост w_1 зависят при дадената скорост на изтичането c_1 от окръжната скорост u В турбините на ТуРД окръжната скорост на средния радиус е равна на 300—350 *м/сек*.



Фиг. 78. **Скоростни триъгълници на газа в газовата турбина:**

а — при сопловия апарат; *б* — при работното колело

За избягване на ударното влизане на потока в колелото на разчетен режим необходимо е направлението на входните ръбове на работните лопатки да съвпада с посоката на относителната скорост w_1 (ъгъл β_1). Лопатките на работното колело също образуват стесняващи се канали. Намалението на проходните сечения на междулопатъчните канали на работното колело също така, както и при сопловия апарат, се осигурява чрез съответно профилиране на лопатките така, че ъгълът между направлението на краищата на лопатките и плоскостта на колелото на изхода да е по-малък, отколкото на входа ($\beta_2 < \beta_1$).

В работното колело газът продължава да се разширява, при което относителната скорост на движението на газа се увеличава, а температурата му пада.

Скоростта на газа в абсолютното движение зад колелото c_2 се определя като векторна сума на относителната скорост w_2 и окръжната скорост u. Трябва да се отбележи, че скоростта c_2 е значително по-малка от скоростта c_1. Това се обяснява с факта, че част от кинетичната енергия, получена от газа при разширението му в сопловия апарат, се използува за въртене на колелото.

Лопатките на сопловия апарат и работното колело, които се обтичат от газовия поток, се намират под действието на хидравличните сили от налягането и триенето, които възникват на повърхността им.

Резултантната от тези сили за една лопатка е усилието, развивано от газовия поток върху всяка лопатка. Окръжните съставни на усилията върху лопатките на колелото създават въртящия момент на вала на турбината.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

На фиг. 79 е показано разпределението на налягането по контура на турбинната лопатка: върху вдлъбнатата част на лопатката се образува повишено налягане, а върху изпъкналата—понижено. Такова разпределение на налягането се явява в резултат на изменението на посоката на скоростта на потока, а така също от реактивното въздействие върху лопатката, което възниква поради увеличаването на скоростта в относителното движение. Величината на окръжното усилие върху работните лопатки P_u може да бъде изчислена по изменението върху количеството движение на газа в колелото в окръжно направление:

$$P_u = \frac{G}{g} \Delta w_u,$$

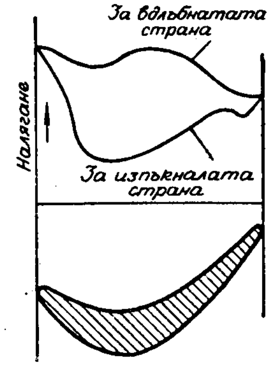
където $\Delta w_u = w_1 \cos \beta_1 + w_2 \cos \beta_2$ е сумата от окръжните съставни на относителните скорости на газа на входа и изхода от колелото (гледай фиг. 78).

Очевидно е, че работата на един *кг* газ по окръжността на колелото се определя по формулата

$$L_{е.\,т} = \frac{u}{g} \Delta w_u,$$

а мощността, развивана от турбината, е равна на

$$N_{е.\,т} = \frac{P_u\, u}{75} = \frac{G\, L_{е.\,т}}{75}.$$



Фиг. 79. **Разпределение на налягането по контура на турбинната лопатка**

Разликите в налягания, превишаващи критическата разлика, могат да бъдат реализирани в сопла, които имат на изхода разширяващ се участък. Обаче такива сопла работят добре само на разчётния режим, а при преминаване на други режими загубите в тях рязко нарастват. Ето защо в авиационните турбини, в които разликите на налягания в зависимост от оборотите на двигателя се менят значително, се използуват обикновено стесняващи се сопла, които работят еднакво удовлетворително на всички режими.

Поради това, че изходното сечение сключва с оста на канала остър ъгъл, турбинните сопла имат така наречения наклонен срез (триъгълникът *ABC* на фиг. 80). Наличието на наклонен срез дава възможност да се получат свръхзвукови скорости на изхода от сопловия апарат.

На фиг. 80 е показана схема на протичането на газа в наклонения срез при разлика в наляганията, превишаваща критическата. В тясното сечение на соплото (сечение *AB*) се установява критическо налягане, а скоростта на потока е равна на скоростта на звука. В наклонения срез налягането продължава да спада, а скоростта се увеличава; при това увеличаването на площта на струята става за сметка на нарастването на ъгъла на посоката на потока ($\alpha_1 > \alpha_{1_k}$). В авиационните турбини разликите в наляганията в сопловия апарат и в работ-

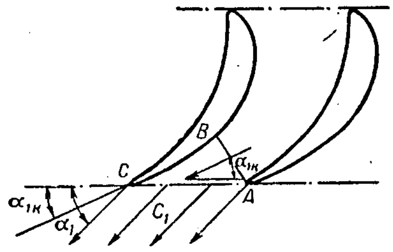
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ното колело обикновено не превишават критическата разлика. Ако зададената разлика в наляганията не може да бъде използувана достатъчно ефикасно в една степен, турбината се прави многостепенна (няколко степени, разположени последователно една зад друга). Мощността, получена от всяка степен, се предава на общия вал на турбината.

Понижаването на разликата в налягането в степента води към намаляване скоростта на лопатъчните апарати и към загуби в тях. Поради това с увеличаване на броя на степените к. п. д. на турбината нараства.

За да се преобразува работата от разширението на газа в работа на окръжността на колелото (механическа работа) достатъчно ефикасно, лопатките трябва да имат определен профил. Така при $D_{ср}$=const и h=const (гледай фиг. 77) профилирането на лопатъчните апарати трябва да осигурява отсъствието на радиални протичания в осевата междина и зад колелото, тъй като те предизвикват допълнителни загуби от вихрообразуване, откъсване на струята и т. н. Възможността за радиално протичане на газа се определя от това, че газът вследствие въртенето около оста на турбината се намира под действието на центробежните сили, които го изтласкват към периферията на колелото.



Фиг. 80. **Схема на протичането на газа в наклонения срез на изхода от лопатките на турбината**

За отстраняване на радиалното протичане на газа в междината действието на центробежните сили трябва да се уравновеси с разликата в статическите налягания на газа по височината на лопатките, т. е. налягането на газа в междината трябва да нараства към периферията. Това се постига за сметка на различното разпределение на разликата на налягането между сопловия апарат и работното колело по височината на лопатките.

Очевидно е, че при това скоростта и температурата на газа по височината на лопатките в едно и също сечение също така ще се изменят. Непостоянството на параметрите на състоянието на газа, на скоростта на изтичането c_1 и на окръжната скорост по протежение на радиуса води към това, че скоростните триъгълници също така се менят по дължината на лопатката, при което в общ случай и работата на газа на различните радиуси се оказва различна.

В турбините с относително къси лопатки изменението на окръжната скорост по височината на лопатката е малко и затова обикновено се пренебрегва, а параметрите на състоянието на газа и скоростните триъгълници, съответствуващи на протичането на газа по средния радиус на турбината, се приемат за „средни значения"

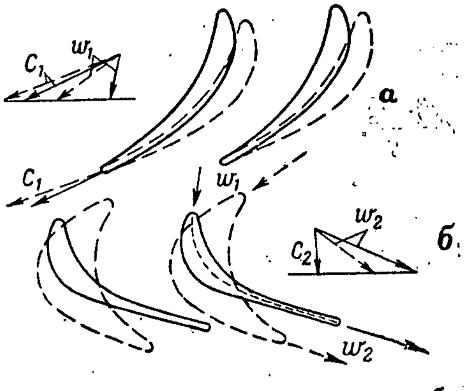
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

за цялото количество газ, протичащ през степените. В тези турбини лопатките се правят прави с постоянни по височината профили.

Ако лопатките имат относително голяма дължина, разчетът по средния радиус в общ случай може да доведе до големи грешки, тъй като параметрите на газа и скоростните триъгълници чувствително се менят по радиуса. Заедно с това за избягване на големите загуби е необходимо да се стремим да има съответствие между формите на лопатките и скоростните триъгълници за всеки радиус. Това се постига чрез употребата на „усукани лопатки", които се характеризират с това, че различните им сечения по височината са изместени едно спрямо друго на известен ъгъл, при което профилът на лопатките от сечение към сечение също се променя.

На фиг. 81 са показани скоростните триъгълници и сеченията на лопатките на сопловия апарат *а* и работното колело *б* в основата (пунктирните линии) и по периферията.



Фиг. 81. Сечения на лопатките на турбината при основата (пунктирано) и на периферията:
а — на сопловия апарат; *б* — на работното колело

През време на работа върху турбинните лопатки действуват високите термически и механически натоварвания, поради което за направата им се използуват специални огнеупорни и с повишена якост при високи температури сплави. За повишаване сигурността на работата на турбината е необходимо охлаждане на отделните й елементи. В съвременните ТуРД охлаждането на турбината обикновено става с въздух, който се взема от компресора.

Уравнение за съхранение на енергията

Пълната енергия на газа на входа на турбината се определя като сума от топлосъдържанието на газа и неговата кинетична енергия. За 1 *кг* газ тази енергия е равна на

$$c_p T_z + \frac{c_z^2}{g} A.$$

В турбината част от енергията на газа се разходва за въртенето на работното колело и за топлообмена на газа с окръжаващата среда през кожуха на компресора. Изваждайки от пълната енергия на газа $c_p T_z + \frac{c_z^2}{2g} A$ енергията, изразходена от 1 *кг* газ за въртенето на турбинното колело $AL_{г.т}$ и за топлообмен с окръ-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

жаващата атмосфера $Q_{вън}$ *кал/кг*, ще получим пълната енергия на газа зад турбината. Тази енергия също се състои от топлосъдържанието му $c_p T_2$ и кинетичната енергия $A\frac{c_2^2}{2g}$, т. е.

$$c_p T_z + A\frac{c_z^2}{2g} - AL_{e.\,т} - Q_{вън} = c_p T_2 + A\frac{c_2^2}{2g}. \qquad (22)$$

Както показва опитът, топлообменът с външната среда, ако лопатките на турбината специално не се охлаждат, е сравнително малка величина. Това се обяснява с факта, че разходът на газа през турбината е голям, а повърхностите, ограничаващи турбината, са малки. Ето защо величината $Q_{вън}$ обикновено се пренебрегва.

Уравнението (22) показва, че в този случай изменението на топлинната разлика в турбината $c_p(T_z - T_2)$ е равно на сумата от ефективната работа $AL_{e\,т}$ и изменението на кинетичната енергия $A\frac{c_2^2 - c_z^2}{2g}$.

Уравнение на Бернули

За процеса на разширение на газа в турбината уравнението на Бернули има следния вид:

$$L_{п.\,т} = L_{e.\,т} + L_{x.\,т} + \frac{c_2^2 - c_z^2}{g}. \qquad (23)$$

От уравнението (23) следва, че политропичната работа н- разширението на газа отива за създаване на ефективна работа на вала на турбината, за преодоляване на хидравличните съпротив вления и за увеличаване на кинетичната енергия на газа.

Графическо изобразяване на процеса на разширението на газа в турбината в координати $p-v$

На диаграмата (фиг. 82) по вертикалната ос е нанесено налягането на газа p, по хоризонталната — относителният обем на газа v. Точката z характеризира състоянието на газа на входа в турбината. Линията $z—2'$ изобразява идеалния процес на адиабатичното разширение на газа от p_z до p_2, т. е. при условие, че загубите от триене в турбината са равни на нула и няма топлообмен с външната среда.

В реалната машина процесът на разширението на газа се съпровожда със загуби: съответствуващата крива на изменението на състоянието на газа (политропата) минава по-полегата, отколкото адиабатата. Кривата $z—2$ показва как се изменя състоянието на газа в действителния процес на разширението на газа в турбината. Точката *1* характеризира действителното състояние на газа на изхода от сопловия апарат, а точката *2* — на изхода от работните лопатки на турбината.

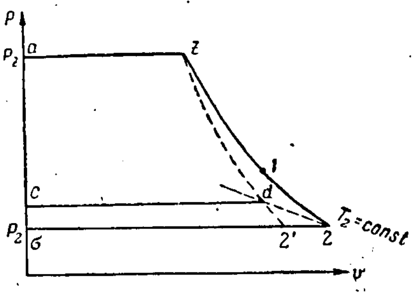
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

По-полегатият вид на кривата на действителния процес на разширението в сравнение с адиабатата се обяснява с това, че в действителния процес на разширението газът се нагрява от топлината, която се отделя в резултат на работата от триенето, вследствие на което при едно и също налягане относителният обем на газа ще бъде по-голям, отколкото при идеалния адиабатичен процес.

Политропичната работа на газа в процеса на разширението също така, както и в процеса на сгъстяването, се определя на диаграмата в $p-v$ координати от площта, разположена вляво от кривата на разширението, т. е. $L_{п.т} = S_{az_12\sigma}$.

При $n=k$ (идеален процес на разширението) политропичната работа на разширението се превръща в адиабатична $L_{ад.т} = S_{az2'\sigma}$. В този случай съгласно уравнението на Бернули $L_{ад.т} = L_{е.т} + \frac{c_2^2 - c_z^2}{2g}$, т. е. цялата работа от разширението на газа отива за извършване на ефективната работа $L_{е.т}$ и за увеличаване на кинетичната енергия. Сумата $L_{е.т} + \frac{c_2^2 - c_z^2}{2g}$ ще наричаме полезна енергия.



Фиг. 82. Графическо изобразяване на процеса на разширението на газа в турбината в координатите $p-v$

В действителния процес на разширение $L_{п.т} > L_{ад.т}$. Физически това се обяснява с факта, че газът се нагрява от топлината, която се отделя в резултат на триенето, и неговата работоспособност се увеличава. Обаче полезната енергия, която се определя съгласно уравнението на Бернули като разлика от политропичната работа и загубите от триене, ще бъде по-малка, отколкото разполагаемата адиабатична работа.

Действително при отсъствие на топлообмен

$$L_{п.т} - L_{x.т} = L_{е.т} + \frac{c_2^2 - c_z^2}{2g} = \frac{k}{k-1} R(T_z - T_2).$$

На диаграмата в $p-v$ координати величината $\frac{k}{k-1} R(T_z - T_2)$ се определя от площта S_{azdc}, където точката d се явява пресечна на адиабатата, минаваща през точка z, и на изотермата, минаваща през точка 2. Разликите в топлосъдържанията $c_p(T_z - T_2') = H_u$ и $c_p(T_z - T_2) = h$ е прието да се наричат съответно адиабатични и действителни топлинни разлики в турбината. Подобна адиабатична и топлинна разлика има в сопловия апарат (H_c и h_c) и в работното колело ($H_л$ и $h_л$). Величината на топлинната разлика при дадена температура T_z се определя от разликата в наляганията $\frac{p_z}{p_2}$.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Разпределението на топлинната разлика, а следователно и разликата в наляганията в турбината между сопловия апарат и работното колело се характеризира със степента на реактивност

$$\rho = \frac{H_л}{H},$$

където

$$H = c_p (T_z - T_2) + \frac{c_z^2}{g} A.$$

Ако наляганията преди и след колелото са еднакви ($p_1 = p_2$), $H_л = 0$ и съответно $\rho = 0$. Такива турбини се наричат активни. Ако $\rho > 0$, турбините се наричат реактивни. В авиацията се използуват реактивните турбини като по-икономични. Турбините на ТуРД имат по средния радиус степен на реактивност $\rho = 0{,}35 - 0{,}45$.

Съгласно уравнението за съхранение на енергията максимално възможната величина на ефективната работа на турбината теоретически ще бъде при адиабатично разширение на газа и при $c_2 = 0$, т. е.

$$L_{е.\,т.\,макс} = \frac{1}{A} c_p (T_z - T_2) + \frac{c_z^2}{2g}.$$

Ето защо величината $\frac{1}{A} H$ се нарича разполагаема работа, а разликата в топлосъдържанията $c_p (T_z^* - T_2') = H$, където $c_p T_z^* = c_p T_z + A\frac{c_z^2}{2g}$ е топлосъдържанието на адиабатично заприщения газов поток пред турбината, който разполага с топлинна разлика. В действителност ефективната работа поради загубите в турбината е значително по-малка от разполагаемата.

Загуби в турбината и в к. п. д. на турбината

Загубите в турбината се състоят от загуби в сопловия апарат, в работното колело и загуби от излизащата скорост. Ще разгледаме загубите в сопловия апарат. Разширението на газа в сопловия апарат се съпровожда от загуби, предизвикани от триенето на частиците на газа помежду си, в стените на лопатките и в повърхностите, ограничаващи лопатките по височина, от откъсването на струята от стените на лопатките и др. Его защо в действителния процес скоростта на газа на изхода от сопловия апарат ще бъде по-малка, отколкото в идеалния адиабатичен процес. Загубите в сопловия апарат обикновено се оценяват с помощта на коефициента на скоростта

$$\varphi = \frac{c_1}{c_{1\,ад}},$$

където c_1 — действителна скорост на газа на изхода от сопловия апарат;

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

$c_{1\,ад}$ — скорост на изтичането на газа от сопловия апарат в идеалния адиабатичен процес.

Намалението на кинетичната енергия на газа в сопловия апарат вследствие на загубите се определя по следната формула:

$$\Delta_{CA} = \frac{1}{2g} c_{1\,ад}^2 (1 - \varphi^2),$$

т. е. колкото е по-голяма скоростта на изтичането на газа от сопловия апарат, толкова по-голяма е загубата в него. В турбините на ТуРД ($\varphi = 0{,}96$—$0{,}98$ и $\rho = 0{,}35$—$0{,}50$ за средния радиус) загубите в сопловия апарат съставляват 3—4% от разполагаемата работа.

Загубите в работното колело могат да бъдат разделени на две групи: загуби в работните лопатки и загуби, предизвикани от наличието на радиална междина между работните лопатки и кожуха на турбината. Загубите в работните лопатки се дължат на същите причини, както и загубите в сопловия апарат. Ако работното колело нямаше никакви загуби, относителната скорост на изхода от работното колело би трябвало да бъде $w_{2\,ад}$, а кинетичната енергия $\frac{w_{2\,ад}^2}{2g}$.

Вследствие на загубите действителната скорост w_2 и кинетичната енергия $\frac{w_2^2}{2g}$ са по-малки от теоретическите им значения; загубата на енергия в колелото е равна на

$$\Delta L_к = \frac{w_{2\,ад}^2}{2g}(1 - \psi^2),$$

където $\psi = \frac{w_2}{w_{2\,ад}}$ — коефициент на скоростта в работното колело, равен на 0,97—0,96.

Колкото е по-голяма степента на реактивност, толкова е по-голяма скоростта и толкова са по-големи загубите в работното колело. При постоянна степен на реактивност и скорост на изтичане c_1 намаляването на окръжната скорост води към нарастването на загубите в работните лопатки. Това се обяснява с увеличаването на скоростта w_1 (а следователно и w_2, гледай фиг. 78), а така също с намаляването на коефициента на скоростта ψ вследствие увеличаване ъгъла на завъртването на потока в колелото.

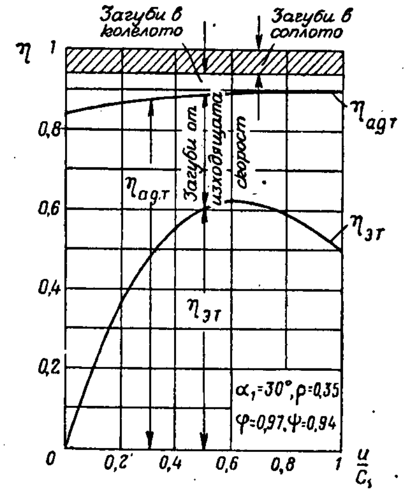
Загубите в радиалната междина се обясняват с това, че частта от газа, минаващ през радиалната междина, не извършва работа в лопатките на колелото. Освен това поради разлика в наляганията от двете страни на лопатките става протичане на газа през радиалната междина от единия канал в другия, което също намалява работата на турбината. Общите загуби в работното колело на реактивната турбина на разчетен режим съответствуват на 3—4% от разполагаемата работа.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Да разгледаме загубите от излизащата скорост. Газът след работните лопатки има абсолютна скорост c_2 и притежава кинетична енергия $\frac{c_2^2}{2g}$. Очевидно е, че кинетичната енергия не се използува за въртене на работнсто колело и ст тази гледна точка се явява загубена. Нейната величина се определя от загубите от излизащата скорост. Те са толкова пс-големи, колкото по-голяма е скоростта c_2. Величината на скоростта зад турбината c_2 зависи главно (при определена степен на реактивност ρ) от отношението $\frac{u}{c_1}$. Скоростта c_2 ще бъде най-малка в този случай, когато тя е насочена по оста на турбината (гледай фиг. 78). На всяко значение на ρ съответствува оптимално значение $\frac{u}{c_1}$, при което скоростта c_2, а следователно и кинетичната енергия $\frac{c_2^2}{2g}$ ще бъдат минимални.

За турбина с $\rho \approx 0,5$ оптималното значение $\left(\frac{u}{c_1}\right)_{опт}$ е равно на $\cos \alpha_1$, при което загубите от излизащата скорост съставляват 6—10% от разполагаемата работа. При отклонение на $\frac{u}{c_1}$ от $\left(\frac{u}{c_1}\right)_{опт}$ тези загуби рязко нарастват. В турбините на ТуРД величината $\frac{u}{c_1}$ се избира по-голяма от $\left(\frac{u}{c_1}\right)_{опт}$ с оглед да се получи най-висок $\eta_{ад.т}$, вследствие на което загубите от излизащата скорост в едностепенните турбини достигат 20% и повече. В многостепенните турбини на ТуРД относителните загуби от изтичащата скорост са значително по-малко. Разгледаните по-горе загуби в турбината се явяват основни. Загубите от триене на диска на турбината с газа при големи разходи на газа обикновено са малки и те могат да се пренебрегнат.



Фиг. 83. Зависимост на газовете и к. п. д. на турбината от отношението $\frac{u}{c_1}$

Съвършенството на газовата турбина като лопатъчна машина се оценява по ефективния и адиабатичния коефициент на полезно действие.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Ефективен к. п. д. се нарича отношението на ефективната работа на вала на турбината към разполагаемата, т. е. $\eta_{e.т}=A\frac{L_{e.т}}{H}=$

$$=1-\frac{\Delta l_{CA}+\Delta L_{к}+\frac{c_2^2}{2g}}{H\frac{1}{A}}.$$ Той показва каква част от разполагаемата работа от разширението на газа съставлява ефективната работа на вала на турбината и отчита всички хидравлични загуби в турбината, а също загубите от излизащата скорост. Ефективният к.п.д. на едностепенната авиационна турбина е равен приблизително на 0,7. Сравнително ниският ефективен к. п. д. на едностепенната турбина се обяснява с това, че значителна част от разполагаемата работа на разширението на газа отива за увеличаване на скоростта на газовете, която на изхода от турбината достига 350 *м/сек* и повече. Многостепенните турбини, в които относителните загуби от излизащата скорост са значително по-малки, имат по-висок $\eta_{e.т}$.

В стационарните установки кинетичната енергия на газа на изхода от турбината обикновено не се използува и затова за получаване на висок $\eta_{e.т}$ се стараят да намалят c_2.

В турбините на ТуРД кинетичната енергия на газовете на изхода от турбината се използува в реактивното сопло за получаване на полезна работа, вследствие на което тази енергия може да бъде отнесена към загубите условно, в смисъл, че тя не се използува за получаване на мощност на вала на турбината.

Във връзка с това освен ефективния к. п. д. се въвежда адиабатичният к. п. д., който не отчита загубите за увеличаване на кинетичната енергия на газа

$$\eta_{ад.т}=A\frac{L_{e.т}+\frac{c_2^2}{2g}}{H}=1-\frac{\Delta l_{CA}+\Delta L_{к}}{H\frac{1}{A}}.$$

Адиабатичният к. п. д. отчита само хидравличните загуби в сопловия апарат и работното колело и характеризира по такъв начин хидравликата на проточната част на турбината. Авиационната едностепенна турбина има $\eta_{ад.т}\approx 0,9$.

На фиг. 83 е показано изменението на загубите, а така също $\eta_{e.т}$ и $\eta_{ад.т.}$ на реактивната турбина с $\rho=0,35$ в зависимост от $\frac{u}{c_1}$ при постоянни значения на коефициентите φ и ψ.

Адиабатичният и ефективният к. п. д. са основни показатели, които характеризират работата на турбината на ТуРД.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Професор, доктор по техническите науки
инженер-полковник П. К. КАЗАНДЖАН

ХАРАКТЕРИСТИКИ НА АВИАЦИОННАТА ГАЗОВА ТУРБИНА

Неразчетни режими на работа на турбината

Разчетът на газовата турбина, също както и разчетът на центробежния или осев компресор, се прави за определен режим на рабста. Този режим на работа на турбината е прието да се нарича разчетен режим. Той обикновено съответствува на максималните обороти на двигателя.

Данни за разчета на газовата турбина на ТуРД или ТВД са мощността, секундният разход, оборотите, а също налягането и температурата на газа пред турбината. Същността на разчета на турбината се свежда към определянето на нейните проходни сечения, ъглите на поставяне лопатките на сопловия апарат и работното колело, а също параметрите на газа зад турбината, които осигуряват зададената мощност на турбината с минимални загуби и с минимални размери. По такъв начин разчетният режим се характеризира с това, че само на този режим лопатъчните венци на турбината най-добре съответствуват на зададения разход и на кинематиката на потока в степента, т. е. осигурява се безударно и без откъсване обтичане на лопатките на сопловия апарат и на работното колело на турбината.

Обаче турбината през по-голямата част от времето работи в условия, различни от разчетния режим, или, както обикновено се казва, на променлив режим.

Изменението на режима на работа на турбината може да зависи от изменението на оборотите на ротора ѝ, от изменението на температурата и налягането на газа пред турбината и от противоналягането зад турбината.

Изменението на режимите на работа на турбината на ТуРД се осъществява чрез изменение на подаването на горивото в горивните камери на двигателя, вследствие на което се изменят параметрите на газа пред и зад турбината, а така също оборотите, разходът на въздух, ефективната работа, к. п. д. и мощността на турбината.

При увеличаване на оборотите чрез увеличаване количеството на подаваното в двигателя гориво се увеличават налягането зад компресора и разходът на въздуха през компресора, а следователно

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

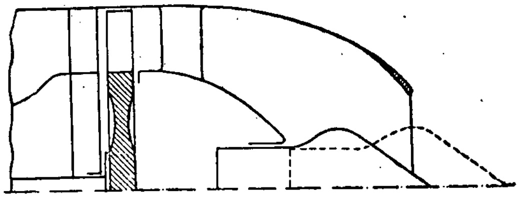
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

и налягането пред турбината и разходът на газа през турбината.

При намаляване на оборотите чрез намаляване на подаваното гориво става обратното явление.

През време на експлоатацията на турбо-реактивния или турбовитловия двигател, без да се говори засега за техния пусков режим, оборотите на двигателя може да се менят в много голям диапазон (от минималния, съответствуващ на малък газ, до максималния). Достатъчно е да кажем, че оборотите при малък газ за съвременните двигатели съставляват 20—40% от максималните обороти.

Това значи, че на практика оборотите на двигателя, а следователно и на турбината, може да се увеличават или намаляват повече от 5 пъти.



Фиг. 84. Схема на регулируемо сопло на ТуРД

Трябва да се каже, че режимът на работа на турбината може да се изменя и при постоянни обороти на ротора ѝ. Така например, ако регулираме изходното сечение на реактивното сопло на двигателя, както това се прилагаше при някои двигатели (фиг. 84), при намалено изходно сечение на соплото (по едни или други съображения) налягането зад турбината ще се увеличи и при постоянно налягане след компресора (пред турбината) разликата в налягането в турбината ще се намали.

Това обстоятелство би могло да доведе до намаляване на оборотите на турбината. Обаче регулаторът на постоянните обороти на двигателя автоматически компенсира намалението на разликата в наляганията в турбината чрез увеличаване на температурата на газа пред турбината с впръскване на допълнително гориво в горивната камера, благодарение на което оборотите на турбината си остават неизменни.

При увеличаване на проходното сечение на реактивното сопло, обратно, налягането зад турбината се намалява, следователно разликата в налягането в турбината се увеличава. Това би могло да доведе до увеличаване оборотите на турбината. Обаче регулаторът на постоянните обороти намалява подаването на гориво в горивната камера на двигателя, в резултат на което температурата пада, а оборотите си остават постоянни.

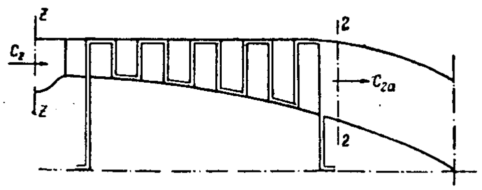
В тези два случая въпреки постоянството на оборотите на турбината режимът ѝ на работа се изменя, тъй като се изменят газо-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

динамическите параметри в различните сечения на турбината. По такъв начин диапазонът на изменението режимите на работа на турбината на ТуРД или ТВД е твърде голям.

Във връзка с това възниква въпросът, как работи турбината на режими, отличаващи се от разчетните. Преди всичко можем да кажем следното: ако на разчетния режим чрез съответен избор на проходните сечения и ъглите на поставянето на лопатките получаваме желаните газодинамически параметри в различните сечения на турбината без откъсване и безударно обтичане на лопатките на сопловия апарат и работното колело, то на неразчетни режими в общ случай проходните сечения и ъглите на поставяне на лопатките вече не съответствуват на газодинамическите параметри и скоростните триъгълници. Ето защо лопатките на турбината ще се обтичат не по нашето желание, а в съответствие с тези проходни сечения и ъгли на поставяне на лопатките, които те имат. При това ъглите на обтичане на потока върху работните лопатки се изменят, при което става удар на газа в ръбовете на лопатките, завихряне на потока, откъсване на струята от лопатките на турбината и т. н.



Фиг. 85. Схема на многостепенна газова турбина

Очевидно е, че колкото повече неразчетният режим се отличава от разчетния, толкова по-силно ще бъде посоченото явление.

Ще се спрем на засегнатите въпроси по-подробно. Да разгледаме многостепенната газова турбина (фиг. 85), неразчетният режим на работа за последните степени на която е по-характерен.

Да съставим уравнението на непрекъснатостта за сеченията $Z—Z$ пред турбината и $2—2$ зад турбината:

$$c_z f_z \gamma_z = c_{2a} f_2' \gamma_2,$$

където c_z, γ_z и f_z са осевата скорост, плътността на газа и площта на проходното сечение, перпендикулярно на оста на въртенето пред турбината; c_{2a}, γ_2 и f_2' — същите зад турбината.

Имайки предвид, че отношението на плътностите можем да заменим с отношението на налягането по формулата

$$\frac{\gamma_z}{\gamma_2} = \left(\frac{p_z}{p_2}\right)^{\frac{1}{n}},$$

ще получим

$$\frac{c_{2a}}{c_z} = \frac{f_z}{f_2'} \cdot \frac{\gamma_z}{\gamma_2} = \frac{f_z}{f_2'}\left(\frac{p_z}{p_2}\right)^{\frac{1}{n}}. \qquad (24)$$

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Анализът на уравнението (24) показва следното: тъй като турбината е разчетена за определена разлика в наляганията $\frac{p_z}{p_2}$ и при това за избраните стойности на c_z и c_{2a} са получени определени значения на проходните сечения f_2' и f_z, то на всички неразчетни режими, когато $\frac{p_z}{p_2}$ се намалява в сравнение с разчетното значение, отношението на осевите скорости $\frac{c_{2a}}{c_z}$ също се намалява, защото $\frac{f_z}{f_2'}=\text{const}$. При това колкото повече $\frac{p_z}{p_2}$ пада, толкова по-чувствително се намалява $\frac{c_{2a}}{c_z}$.

Ако на разчетния режим четиристепенната турбина има $\frac{p_z}{p_2}=16$; $c_z=$ $=150$ *м/сек*; $c_{2a}=450$ *м/сек*, т. е. $\frac{c_{2a}}{c_z}=3$ и при това $\frac{f_2'}{f_z}\approx 2{,}87$ (показателят на политропата се приема 1,29), то на режим, при който степента на разширение $\frac{p_z}{p_2}$ стане равна на 10, отношението на осевите скорости $\frac{c_{2a}}{c_z}$ ще се получи 2,08, а ако $\frac{p_z}{p_2}$ стане равно на 4, то $\frac{c_{2a}}{c_z}=1{,}02$ и най-после, при степен на разширяване $\frac{p_z}{p_2}=2$ ще се получи, че $\frac{c_{2a}}{c_z}\approx 0{,}595$.

От посочените данни се вижда, че с намаляване на разликата в налягянията под разчетната отношенията на осевите скорости $\frac{c_{2a}}{c_z}$ се намаляват от 3 (при $\frac{p_z}{p_2}=16$) до 0,595 (при $\frac{p_z}{p_2}=2$), т. е. почти 5 пъти.

Указаните данни са изчислени при условие, че показателят на политропата на всички режими остава постоянен. При намаляване на разликата в налягянията показателят на политропата малко се намалява (тъй като се увеличават хидравличните загуби) и отношението на осевите скорости ще бъде малко по-голямо от указаното по-горе. Обаче тази поправка ще бъде незначителна.

Действително даже при най-лошия случай — при просто дроселиране на въздуха, при което може да се приеме, че процесът протича по изотерма ($n=1$), отношението $\frac{c_{2a}}{c_z}$ при $\frac{p_z}{p_2}=2$ ще се получи равно на 0,695, а не 0,595 (при $n=1{,}29$).

И така на неразчетните режими при спадане на разликите в налягянията отношенията на осевите скорости се намаляват. c_{2a} но

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

отношение на c_z става все по-малка и по-малка. Физически това се обяснява с факта, че на неразчетните режими (за всички разлики в налягането, по-малки от разчетната) всичките проходни сечения на турбината стават по-големи от началното сечение f_z, поради което и осевата скорост c_{2a} в сравнение с c_z намалява.

Действително на разчетния режим вследствие на голямата разлика в наляганията пада значително и плътността на газа; по тази причина за намаляването на височината на лопатките на последната степен на турбината осевата скорост на изхода от турбината се избира близка до местната звукова скорост. На неразчетните режими в резултат на намаляване на разликите в налягането плътността също намалява, т. е. плътността на газа зад турбината в сравнение с плътността пред нея не пада така значително, както беше при разчетния режим. При това колкото разликата в налягането е по-малка, толкова по-малка е и разликата между плътностите пред и зад турбината.

Така в разгледания по-горе пример за разчетния режим при $\frac{p_z}{p_2}=16$ отношенията на плътностите $\frac{\gamma_z}{\gamma_2}=8{,}6$, а при $\frac{p_z}{p_2}=2$ отношението $\frac{\gamma_z}{\gamma_2}$ се намалява до 1,7. Това обстоятелство води към това, че отношението на площите $\frac{f'_2}{f_z}$, избрано за разчетния режим (за по-голяма разлика в наляганията), става голямо за неразчетните режими на работа на турбината, когато разликата в налягането е малка. За запазване на разчетното значение на $\frac{c_{2a}}{c_z}$ е необходимо да се намали f'_2 (и съответно всички проходни сечения), т. е. да се увеличи отношението $\frac{f_z}{f'_2}$ с толкова пъти, с колкото ще се намали отношението $\left(\frac{p_z}{p_2}\right)^{\frac{1}{n}}$ или $\frac{\gamma_z}{\gamma_2}$ (гледай формула 24). Но тъй като в действителност проходните сечения остават постоянни, то отношението на осевите скорости пада.

Отношението на осевите скорости $\frac{c_{2a}}{c_z}$ се намалява най-силно на работните лопатки на последната степен и най-слабо — в сопловия апарат на първата степен на турбината.

Посоченото обстоятелство е свързано с това, че за неразчетните разлики в наляганията проходните сечения от степен към степен като че ли все повече и повече се увеличават.

Вследствие на това на неразчетните режими разширението на газа протича главно в първите степени на турбината. С това се обяснява и положението, че в двигател с регулируемо реактивно

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

сопло при увеличаване на изходното отверстие на реактивното сопло (реактивното сопло се разглежда като соплов апарат на следваща степен) разликата в наляганията в предната степен на турбината се увеличава. По такъв начин при намаляване на степента на разширяване на газа в многостепенна турбина най-голямо намаляване на разликата в налягането се наблюдава в работните лопатки на последната степен и най-малко — в сопловия апарат на първата степен.

В съответствие с това в едностепенната турбина на неразчетни режими разликата в налягането в соплото не се намалява така чувствително, както в работните лопатки или в степента като цяло.

На режимите на турбината, които са твърде отдалечени от разчетния вследствие на голямото преразширение на газа в предните степени, следващите степени и особено последната степен на турбината могат да преминат на компресорен режим на работа, т. е. газът в последната степен ще се свива, вместо да се разширява.

При увеличаване на степента на разширението на газа над разчетното ѝ значение, както се вижда от формулата (24), отношенията на осевите скорости се увеличават. Това става, защото при разлики в наляганията, по-големи от разчетната, спадането на плътностите (отношението $\frac{\gamma_z}{\gamma_2}$) е по-голямо, отколкото на разчетния режим, тъй като проходните сечения на турбината от една степен към друга в сравнение с изменението на плътността са вече малки, с което се и обяснява увеличаването на осевите скорости в следващите степени.

В този случай най-незначително увеличаване на степента на разширяване ще се получи в сопловия апарат на първата степен и най-голямо — в работните лопатки на последната степен.

Трябва да се отбележи, че при разлики в наляганията, по-големи от разчетната, увеличаването на осевите скорости ще става дотогава, докато осевата скорост на изхода от турбината не стане равна на местната скорост на звука. В междинните степени осевата скорост ще бъде по-малка от местната скорост на звука, тъй като най-голямата осева скорост и най-малката скорост на звука (вследствие на намаляването на температурата) всякога ще бъдат на изхода от последната степен.

Случаят, когато осевата скорост на изхода от турбината стане равна на местната скорост на звука, в практиката е получил названието „запушване" на турбината, тъй като той съответствува на максималната разлика на наляганията в турбината.

Обстоятелството, че изменението на режима на работа на турбината в една или друга страна много малко влияе на режима на работа на сопловия апарат на първата степен даже при едностепенна турбина, позволява да се направи твърде важен извод, който има голямо практическо значение за построяването на летателните и стендовите характеристики на ТуРД.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

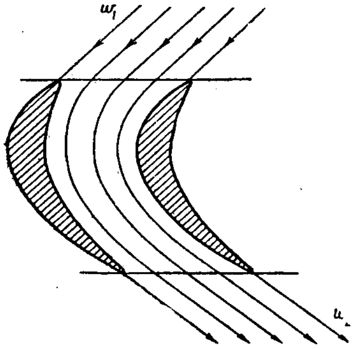
За потвърждаване на това ще напишем израза за разхода на газа през сопловия апарат на първата степен. От термодинамиката е известно, че секундният разход се изразява със следната формула:

$$G = \frac{p_z f_c \lambda}{\sqrt{RT_z}}, \tag{25}$$

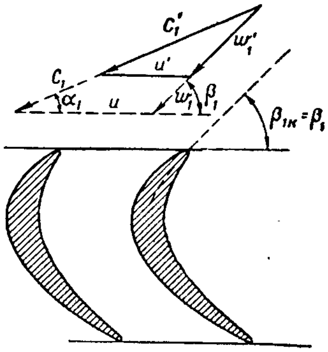
където p_z и T_z — налягането и температурата на газа пред соплото;
f_c — площта на проходното сечение на соплото;
λ — коефициент на разхода на въздуха.

Коефициентът на разхода на въздуха зависи от разликата на наляганията в соплото. Тъй като разликата в налягането в соплото при широк диапазон на изменение на режимите на турбината почти не се мени, не ще се мени и коефициентът λ

Въз основа на това можем да направим извод, че величината $\frac{G\sqrt{T_z}}{p_z}$, наречена приведен разход, ще бъде постоянна, тъй като f_c и R също са постоянни. Постоянното значение на приведения разход на въздуха позволява да се построи приблизителна теория на аналитичния разчет на характеристиките на турбината и летателните характеристики на ТуРД и ТВД.



Фиг. 86. Безударно влизане на газа към лопатките на работното колело



Фиг. 87. Изменение на режима на работа на турбината при постоянно отношение $\frac{u}{c_1}$.

Да преминем сега към разглеждане на неразчетните режими на работа на турбината от гледна точка на обтичане на лопатките на сопловия апарат и работното колело от газовия поток.

На разчетния режим на работа на турбината посредством подбора на профилите на лопатките и гъстотата на решетките трябва да се получат разчетните хидравлични ъгли. Лопатките на работното колело се поставят по такъв начин, че въздухът да влиза в тях без удар (фиг. 86).

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Най-добър резултат се получава в случая, когато газът обтича работните лопатки с малки отрицателни ъгли на атака (2—3°).

На неразчетните режими на работа на турбината ъгълът на изхода на абсолютната скорост α_1 (фиг. 87) се изменя незначително, обаче ъгълът β_1, който определя посоката на относителната скорост, може да се мени твърде силно. Тъй като конструктивните ъгли на лопатките не се изменят, това предизвиква удар при влизането на газа в работните лопатки.

Удар не ще се получи само тогава, когато режимът на работа на турбината се изменя така, че отношението $\frac{u}{c_1}$ да остава постоянно, т. е. когато $\frac{u}{c_1}=\frac{u'}{c'_1}$ (гледай фиг. 87). Макар при работа на турбината на ТуРД окръжната скорост да се изменя в резултат на разликата в налягането и температурата, т. е. с намаляване на абсолютната скорост c_1 се намалява и окръжната скорост u и обратно, тези величини не всякога могат да се менят така, че тяхното отношение да остава постоянно.

Като пример ще разгледаме два частни случая. Да предположим, че:

— разликата в наляганията в турбината се намалява, следователно се намалява и скоростта на изтичането на газа от сопловия апарат на турбината, а окръжната скорост остава постоянна;

— скоростта на изтичането на газа остава постоянна, а се мени само окръжната скорост.

Такива условия при работа на турбината на ТуРД или ТВД е трудно да се създадат, тъй като в действителност неразчетният режим ще съответствува на някакво промеждутъчно състояние. Обаче при изпитание само на турбината (гледай по-долу) указаните режими на работа на турбината могат да се създадат чрез изменение на параметрите на газа пред турбината и натоварването на спирачката.

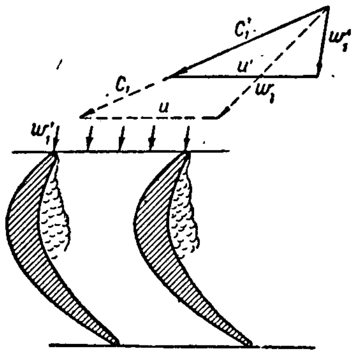
Скоростните триъгълници на газа за тези случаи са показани на фиг. 88 и 89. С плътни линии и индекси са означени параметрите на неразчетния режим, а с пунктирни линии — разчетните режими. Както се вижда от тези фигури, в първия случай се получава удар на газа върху изпъкналата страна, а във втория — върху вдлъбнатата страна (коритцето) на работните лопатки на турбината. Ако в първия случай скоростта c_1 бъде по-голяма от разчетната, а окръжната скорост не се изменя, газът ще се удря във вдлъбнатата страна на лопатките. Ако във втория случай скоростта на изтичането на газа не се изменя и окръжната скорост бъде по-голяма от разчетната, газът ще се удря в изпъкналата страна на работните лопатки.

Както вече беше отбелязано, при работата на турбината на ТуРД или ТВД в чист вид такива частни случаи не може да се съз-

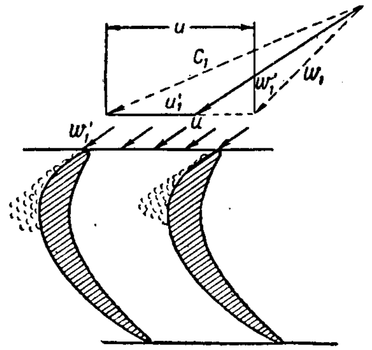
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

дават. Обаче във всички случаи, когато отношението $\frac{u}{c_1}$ се различава от своето разчетно значение, газът обтича работните лопатки на турбината с удар.

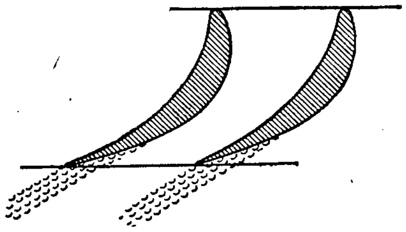


Фиг. 88. **Обтичане на лопатките на работното колело при разлика в налягането, по-малка от разчетната**



Фиг. 89. **Обтичане на лопатките на работното колело при окръжна скорост, по-малка от разчетната**

Ударът на газовете в ръбовете на лопатките се съпровожда с появата на вихри в потока, а при твърде голям ъгъл на удара и с откъсване на струята на газа от стените на лопатките. Откъсване на газовия поток на неразчетните режими се наблюдава и при лопатките на сопловия апарат (фиг. 90). Освен това на неразчетните режими нараства процентът на загубите в краищата и загубите в междините.



Фиг. 90. **Откъсване на потока от лопатките на сопловия апарат на неразчетен режим**

Всичко това довежда до увеличаване на общите загуби в лопатките на сопловия апарат и работното колело, а следователно и до намаляване к. п. д. на турбината. За да се оцени количествено влиянието на неразчетните режими на работа на турбината върху основните ѝ показатели, както и при компресора, се строят характеристики на турбината във вид на криви в различни координати, където разчетният режим за всеки параметър се определя от една точка.

Изхождайки от общата теория за подобието, споменатите характеристики се построяват в критериални параметри, които са универсални и не зависят от изменението на атмосферните условия.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

За подобните режими на работа на турбината

Общите съображения за прилагането на теорията за подобието на газовите потоци при протичането на въздуха в лопатъчните машини, по-специално в центробежните компресори, бяха изложени на стр. 91. Тук ще се ограничим с изложението на основните резултати от прилагането на теорията за подобието към процесите, които протичат в турбината.

В общ случай изменението на разхода на газа, на оборотите и на параметрите за състоянието на газа на входа в турбината довежда до отклонение протичането на газа в отделните елементи на турбината от разчетната схема.

В резултат на това се получава изменение на общата степен на разширение, на к. п. д. и на другите величини, които характеризират работата на турбината.

За всеки зададен режим на работа на турбината могат да се посочат много други режими, които удовлетворяват следното изискване: протичането на газа в отделните елементи на турбината остава подобно на протичането на газа в същите тези елементи на зададения режим. Такива режими на работа на турбината се наричат подобни.

При работа на турбината на подобни режими всички останали параметри (степента на разширяване, отношенията на скоростите и температурите, к. п. д. и др.) за всеки елемент на турбината, а следователно и за цялата турбина ще остават постоянни.

Да видим при какви условия режимите на работа на турбината могат да бъдат подобни.

Както беше отбелязано по-горе (гледай стр. 92), условията за подобие на газовите потоци при наличие на кинематично подобие се свеждат до постоянство на критериите на подобие на числата M и Re.

Влиянието на критерия Re върху подобието на газовите потоци на практика се забелязва само при значение на числата $Re < 3{,}5.10^4$.

В авиационните газови турбини числата Re обикновено превишават посочените значения, поради което в повечето случаи с достатъчна за практиката точност подобието на режимите на работа на турбината може да се характеризира с постоянството на числото M и посоката на потока на входа в сопловия апарат и в работното колело в относителното движение.

Тези условия ще бъдат спазени, ако въпреки изменението на разхода на газа, на числото на оборотите и на параметрите на състоянието на газа пред турбината отношенията $\frac{u}{\sqrt{T_z}}$ и $\frac{c_z}{\sqrt{T_z}}$ остават постоянни.

По такъв начин параметрите $\frac{u}{\sqrt{T_z}}$ и $\frac{c_z}{\sqrt{T_z}}$ се явяват критерии за подобието на режимите на работа на турбината.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Може да се каже, че всеки две независими безразмерни отношения $\frac{u}{\sqrt{T_z}}$; $\frac{c_z}{\sqrt{T_z}}$; $\frac{c_2}{c_1}$; $\frac{T_z}{T_2}$; $\frac{p_z}{p_2}$ и други подобни, а също и техните комбинации могат да служат като критерии за подобието на режимите на работа на турбината. Критериални по-специално ще бъдат параметрите $\frac{u}{\sqrt{T_z^*}}$ и $\frac{c_z}{\sqrt{T_z^*}}$, където T_z^* е температурата на адиабатично заприщения поток на входа в соплoвия апарат.

В практиката широко разпространение са получили параметрите $\frac{G\sqrt{T_z^*}}{p_z^*}$; $\frac{Gn}{p_z^*}$; $\frac{L_e}{n_2}$; $\frac{n}{\sqrt{T_z^*}}$; $\frac{p_z^*}{p_2}$ и т. н., които също се явяват критерии за подобието на режимите на работа на турбината.

Въз основа на изложеното може да се каже, че при подобните режими на работа на турбината, независимо от това, че параметрите на газа (p, T, c) по абсолютна величина се менят, безразмерните отношения на тези параметри, взети за всеки две сечения, остават постоянни. Скоростните триъгълници при това остават подобни.

Обаче, за да се уверим в това, че режимите на работа на турбината са подобни, не трябва да се проверява постоянството на всички безразмерни параметри. За тази цел е достатъчно да се провери само постоянството на които и да са два независими безразмерни параметра, тъй като при постоянството на два параметра останалите параметри автоматически остават постоянни. Съвкупността на два избрани параметра, е прието да се нарича критерий на подобните режими на работа на турбината.

Изборът на едни или други параметри като критерий на подобието на режимите на работа на турбината се определя от удобството при тяхното практическо използуване.

По-горе се отбеляза, че обикновено влиянието на числото Re върху данните на турбината е незначително, обаче в областта на значенията $Re < 3{,}5 . 10^4$ това влияние трябва да се има предвид.

В газовите турбини на ТуРД при работа на двигателя на земята на място числото $Re = (6 \div 7) . 10^4$, но с издигане на височина вследствие намаляването на плътността на газа числото Re пада. Намаляването на числото Re довежда до нарастване на загубите в лопатките на сопловия апарат и работното колело, в резултат на което к. п. д. на турбината пада.

Очевидно е, че в областта на малките числа Re подобието на режимите на работа на турбината ще се определя от постоянството на три независими параметра, два от които характеризират подобието на режимите по числото M на потока на входа в сопловия апарат и работното колело, а третият отчита влиянието на числото Re.

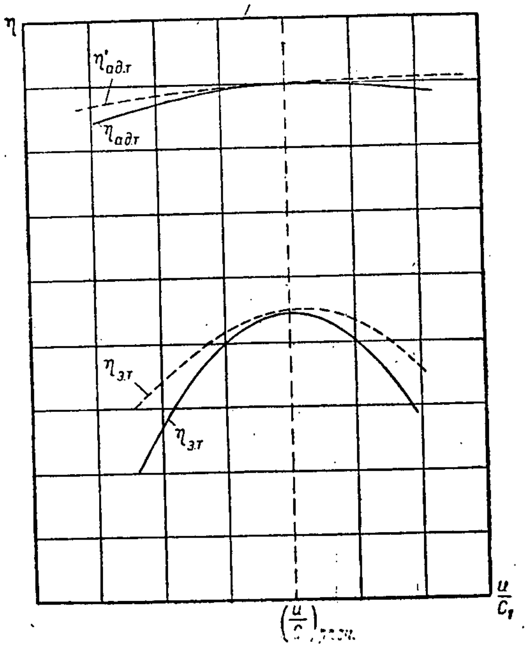
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Способи за изобразяване характеристиките на турбината

В общ случай под характеристики на турбината се разбират зависимостите между различните безразмерни параметри, които характеризират работата на турбината. Характеристиките на турбината могат да имат различно графическо изражение, което се определя от избора на координатната система.

Ще покажем някои способи за изобразяване характеристиките на турбината. На фиг. 91 е показано изменението на $\eta_{ад\cdot т}$ и $\eta_{е\cdot т}$ в зависимост от $\frac{u}{c_1}$ при постоянно значение на степента на



Фиг. 91. Графици на зависимостта на к. п. д. на турбината от отношението $\frac{u}{c_1}$

реактивност. Тези криви по външния си вид приличат на графиците, изобразени на фиг. 83 (гледай фиг. 83). Обаче по същество между тях има голяма разлика. Работата е в това, че кривите, показани на фиг. 83 и 91, се отнасят за разчетен режим на работа на различни турбини, където на всяко значение $\frac{u}{c_1}$ съответствува нова турбина, конструктивните ъгли на която $\alpha_{1к}$, $\beta_{1к}$ и $\beta_{2к}$ отговарят на скоростния триъгълник (гледай фиг. 87).

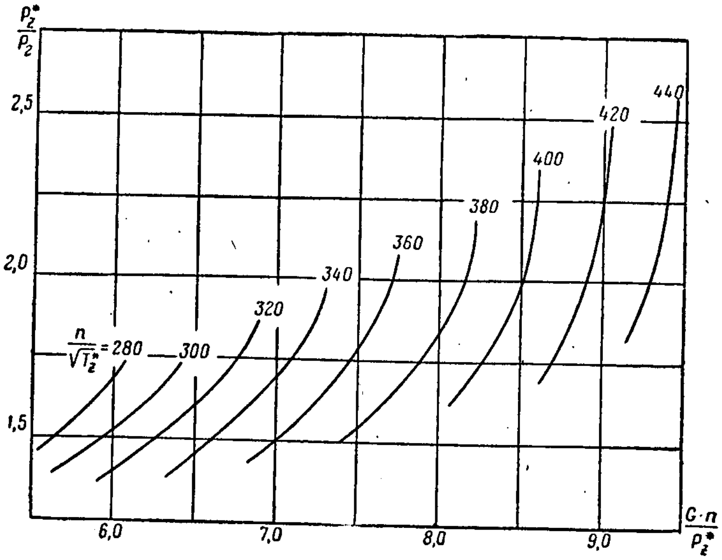
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Кривите пък, показани на фиг. 91, се отнасят само за една турбина. Тук на всяко значение на $\frac{u}{c_1}$ съответствуват едни и същи конструктивни ъгли.

И понеже хидравличният ъгъл β_1 в зависимост от $\frac{u}{c_1}$ се мени, а $\beta_{1к}$ остава постоянен, получава се удар на газа в ръбовете на работните лопатки.

На фиг. 91 за сравнение са показани измененията на $\eta'_{ад\cdot т}$ и $\eta'_{е\cdot т}$ без отчитане на загубите от ударите и същите тези величини $\eta_{ад\cdot т}$ и $\eta_{е\cdot т}$ с отчитане на загубите от ударите. Допирните точки на кривите $\eta_{ад\cdot т}$ и $\eta'_{ад\cdot т}$, а също така и на $\eta_{е\cdot т}$ и $\eta'_{е\cdot т}$ съответствуват на разчетен режим на работа на турбината, т. е. на безударно подвеждане на газа към работната лопатка.



Фиг. 92. Характеристики на турбината в координатите $\frac{p_z^*}{p_2}$, $\frac{n}{\sqrt{T_z^*}}$ и $\frac{Gn}{p_z^*}$

На фиг. 92 са показани характеристики на газовата турбина в координатите $\frac{p_z^*}{p_2}$, $\frac{n}{\sqrt{T_z^*}}$ и $\frac{Gn}{p_z^*}$.

Сега съветските учени въз основа на трудовете на гениалните основоположници на авиационната наука Н. Е. Жуковски и С. А. Чаплигин създадоха теория за характеристиките на турбината и разработиха способи за тяхното построяване. Но характеристиките на турбината, както и характеристиките на компресора, може да бъдат построени също експериментално.

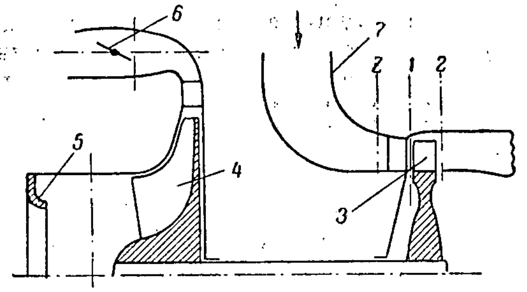
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Тук ние ще се спрем само на експерименталния способ за построяване на характеристиките на турбината.

На фиг. 93 е показана една от възможните схеми на установка за изпитание на газова турбина. По тази схема въздухът, предварително сгъстен и загрят, постъпва по тръбата 7 към лопатките 3 на подложената на изпитание турбина, където той се разширява и извършва работа, а след това се изхвърля в атмосферата.

Мощността, развивана от турбината, се поглъща от центробежния сгъстител 4, който изпълнява ролята на въздушна спирачка. Въздухът от сгъстителя също се отвежда в атмосферата. Мощността, която се използува от сгъстителя, се регулира с изменение на разхода на въздуха през сгъстителя (с регулираща дроселна клапа 6).



Фиг. 93. Схема на установка за изпитание на турбина:
z — вход на въздуха в турбината; *1* — вход на въздуха в колелото; *2* — изход на въздуха от турбината; *3* — лопатки на турбината; *4* — сгъстител; *5* — мерно сопло; *6* — дроселна клапа; *7* — подвеждаща тръба

Режимът на работа на турбината се изменя в зависимост от оборотите на ротора на турбината и от налягането и температурата на газа пред турбината, за което трябва да има отделна регулируема компресорна установка и горивна камера, разположена между компресорната установка и турбината (компресорната установка и горивната камера на фиг. 93 не са показани).

По такъв начин в схемата на установката, дадена на фиг. 93, турбината и въздушната спирачка работят самостоятелно, което позволява да се изменя режимът на работа на турбината в широк диапазон.

При изменението на налягането на входа се изменя и степента на разширяване на въздуха в турбината, тъй като противоналягането зад нея остава постоянно и равно на атмосферното. Изменението на величината $\frac{n}{\sqrt{T_z^*}}$ се постига за сметка на изменението на оборотите или температурата или на едното и другото едновременно.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Желателно е при изменението на налягането на газа пред турбината величината $\frac{n}{\sqrt{T_z^*}}$ да остава постоянна, което може да се осъществи с регулиране на разхода на въздуха чрез спирачния сгъстител. Така например, ако се увеличи налягането на газа p_z^* пред турбината, вследствие увеличаването на степента на разширението на газа в турбината ще нарасне нейната мощност, което ще предизвика увеличаване на оборотите. За да се запази величината $\frac{n}{\sqrt{T_z^*}}$ постоянна, необходимо е да се отвори дроселната клапа на въздушната спирачка до такова положение, че отношението $\frac{n}{\sqrt{T_z^*}}$ да достигне предишната си величина.

При изпитанието на турбината на всеки режим се измерват оборотите ѝ *n об/мин*, разходът на газа през турбината *G кг/сек*, налягането и температурата на заприщения газов поток в сеченията z—z и 2—2 (p_z^*, T_z^*, p_2^*, T_2^*), а също и статическото налягане в сеченията z—z и 2—2 (p_z, p_2).

Освен това твърде желателно е да се измери мощността на турбината с помощта на тензометър, който се поставя между турбината и спирачката. Измерването на мощността на турбината може да се контролира по мощността, която се консумира от компресора, за което е необходимо да се измери температурата на заприщения поток на изхода от компресора, а също така разходът на въздуха през компресора.

За построяване характеристиките на турбината трябва въз основа на експериментални данни да се изчислят различните величини, дадени на фиг. 92.

Изброените по-горе експериментални данни позволяват да се изчисли степента на разширение на газа $\frac{p_z^*}{p_2}$, параметрите на разхода на газа $\frac{Gn}{p_z^*}$ и оборотите $\frac{n}{\sqrt{T_z^*}}$ и да се построят характеристиките на турбината по типа на дадените на фиг. 93.

Ще отбележим, че в някои случаи по-удобно е характеристиките на турбината да се изобразяват в други координати.

Действителният член на Академията на науките на СССР Б. С. Стечкин предложи твърде оригинален способ за построяване на характеристиките на турбината на ТуРД в координатите $\frac{L_{e.т}}{n^2}$, $\frac{Gn}{p_z^*}$ в зависимост от $\frac{p_z^*}{p_2}$. Такива характеристики на турбината са показани на фиг. 94.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

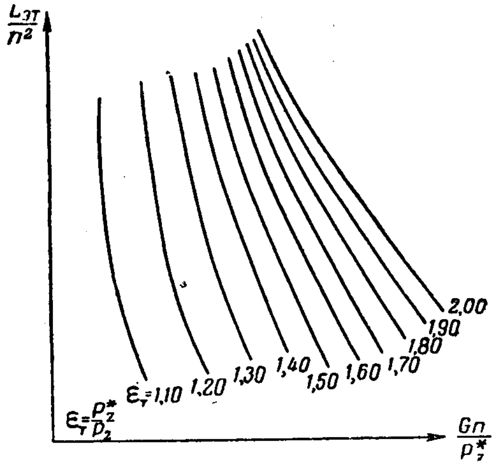
Тези характеристики са удобни, особено при изследванията на съвместните режими на работа на турбината и компресора.

Удобството на такива координати се състои в това, че те са еднакви и за турбината, и за компресора.

Действително налягането на въздуха зад компресора p_k^* е равно на налягането на газа пред турбината p_z^*; оборотите на турбината са равни на оборотите на компресора, тъй като те се намират на един вал. Разходът на газа обикновено се приема за равен на разхода на въздуха. Ефективната работа на турбината в ТуРД е равна на ефективната работа на компресора, поради което

$$\left(\frac{Gn}{p_z^*}\right)_{турб}=\left(\frac{Gn}{t_k^*}\right)_{компр},$$

$$\left(\frac{L_{e.т}}{n^2}\right)_{турб}=\left(\frac{L_{e.к}}{n^2}\right)_{компр}.$$



Фиг. 94. Характеристики на турбината в координатите

$$\frac{L_{e.т}}{n^2};\quad \frac{Gn}{p_z^*};\quad \frac{p_z^*}{p_z}$$

Освен това, ако за степен на разширението на газа в турбината се вземе степента на разширение на газа в турбината и в реактивното сопло, то

$$\left(\frac{p_z^*}{p_0}\right)_{турб}=\left(\frac{p_k^*}{p_0}\right)_{компр}.$$

Ако сега по отделно се изпитат компресорът и турбината и се построят техните характеристики в еднакви координати, а след това получените криви се наложат на един график, точките на пресичането на отделните криви с еднакви степени на сгъстяване и разширение ще дадат режима на съвместна работа на турбината и компресора.

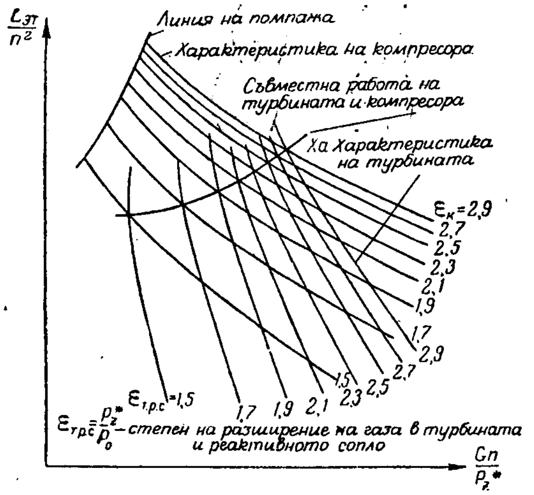
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

На фиг. 95 е показан приблизителният вид на комбинирани (наложени) характеристики на компресора и турбината, а също и линията на съвместните режими на тяхната работа.

Подобните характеристики позволяват, първо, по-правилно да се подхожда при подбора на турбината за дадения компресор при проектирането и регулирането на двигателя и второ, с тяхна помощ да се построят летателните и стендовите характеристики на двигателя.

Нека се спрем на обяснението на съвместните режими на работа на турбината и компресора.



Фиг. 95. **Приблизителен вид на съвместни характеристики на газова турбина и компресор**

Преди всичко ще напомним, че при разчетния режим на работа на компресора или турбината въздухът се движи през лопатъчните апарати на тези машини без удари. При други обороти и параметри обаче движението на въздуха през лопатъчните апарати без удари не всякога е възможно, тъй като лопатките са здраво закрепени.

Ето защо за работата на турбината или компресора на режими, които се различават от разчетния, може да се съди по характеристиките на тези машини.

Ще отбележим, че разчетният режим върху характеристиките на турбината и компресора се определя само с една единствена точка.

Характеристиките на турбината и компресора се снемат при работата им по отделно.

Схемата на установката за снемане на характеристики на компресора по принцип остава същата, както и за изпитанието на турбината (гледай фиг. 93). Разходът на въздуха през компресора може да се регулира чрез дроселната клапа *б*, а оборотите — чрез изменение на параметрите на газа пред турбината. По такъв начин се снемат

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

редица характеристики и се получава полето на характеристиките на компресора.

Сега възниква въпросът, как при наличие на отделни характеристики на турбината и на компресора можем да намерим техните работни характеристики при съвместна работа. Или, с други думи, как ще намерим режимите на съвместна работа на турбината и компресора.

Разрешаването на тази задача по наличните готови характеристики на турбината и компресора се улеснява от това, че в системата на турбо-реактивните двигатели мощността на турбината се разходва за въртене на компресора. Освен това разходът на въздуха през компресора е равен на разхода на газа през турбината, а оборотите на турбината са равни на оборотите на компресора.

Поради това при комбинирано изобразяване на характеристиките на компресора, турбината и реактивното сопло на един график точките на пресичане на кривите с еднакви степени на сгъстяване (на компресора) и разширение (на турбината и реактивното сопло) ще ни дадат режима на съвместна работа на турбината и компресора.

От изложеното следва, че характеристиките на турбината и компресора представляват голям интерес за практиката. Тяхното познаване и умението да се изследват позволяват по-грамотно и по-уверено да се експлоатират турбо-реактивните двигатели.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Доцент, кандидат по техническите науки
инженер-майор Ю. А. НЕЧАЕВ

РАБОТЕН ПРОЦЕС В ТУРБО-РЕАКТИВНИЯ ДВИГАТЕЛ

Схема и принцип на действие на турбо-реактивния двигател

Турбо-реактивният двигател се състои от следните основни елементи: компресор, горивни камери, газова турбина и реактивно сопло.

Въздухът се подвежда към двигателя през входните канали, които в повечето случаи се отнасят към конструкцията на самолета. Входните канали трябва да имат малки хидравлични съпротивления и да осигуряват равномерност на постъпващия в компресора въздушен поток.

Формата и размерите на входните канали зависят от разположението на двигателя на самолета. Обикновено се цели скоростният напор на обтичащия самолета въздушен поток да се преобразува в налягане главно още при влизането си във въздухообразника на входния канал. В този случай се подобрява използуването на скоростния напор и се намалява скоростта на въздуха във входните канали, което намалява хидравличните съпротивления в тях.

В съвременните ТуРД процесът на сгъстяване се осъществява предимно в компресора, тъй като при дозвукови и относително неголеми свръхзвукови скорости на полета сгъстяването на въздуха от скоростния напор се оказва незначително.

Основните данни на ТуРД съществено зависят от съвършенството на използуваните компресори, които трябва да притежават високи степени на сгъстяване, високи значения на адиабатичния к.п.д. и по възможност малки външни размери и тегло.

За сгъстяване на въздуха в ТуРД се използуват както центробежни, така и осеви компресори. Схема на ТуРД с центробежен компресор е показана на фиг. 96, а с осев — на фиг. 97.

Центробежните компресори намират широко приложение в ТуРД. Това се обяснява с тяхната проста конструкция и сигурност в експлоатацията. Обаче техният адиабатичен к.п.д. е сравнително нисък и обикновено не надминава 0,75—0,80.

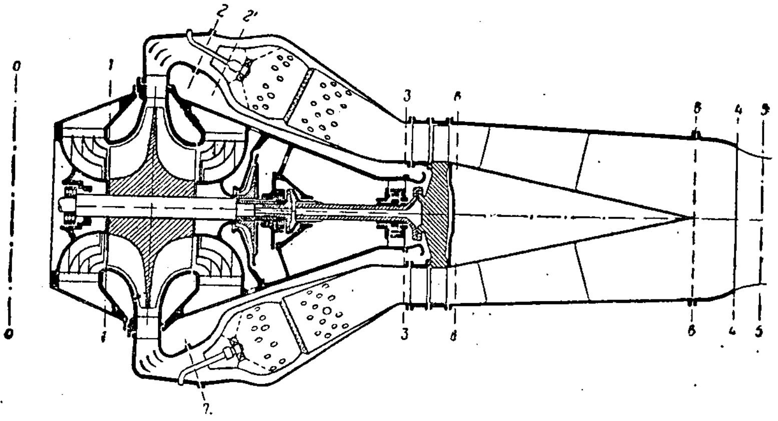
Осевите компресори имат по-висок адиабатичен к.п.д., който достига до 0,84—0,87, и позволяват да се получат по-високи степени на сгъстяване, отколкото при едностепенните центробежни компресори. Освен това при еднакви диаметрални размери те притежават по-висока производителност, т. е. пропускат по-голямо количество

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

въздух. Ето защо осевите компресори получават все по-широко приложение в авиационните газотурбинни двигатели.

Въздухът от компресора постъпва в горивната камера, където става изгаряне на горивото. Трябва да се стремим процесът на изгарянето да протича при постоянно налягане. Практически налягането в камерата незначително пада поради наличието на хидравлични загуби и увеличаването на скоростта на движението на газа.



Фиг. 96. Схема на ТуРД с центробежен компресор

Допустимата температура на газа на изхода от горивната камера се определя от устойчивостта на материалите на турбината на високи температури и от ефективността на нейното охлаждане. В повечето турбини на съвременните ТуРД, лопатките и дискът на които нямат специално вътрешно охлаждане, тази температура не превишава 850—900°C.

Горивната камера е твърде важна част от двигателя. При висока пълнота на изгаряне на горивото камерата трябва да има малки хидравлични съпротивления и малки размери, да осигурява устойчивост на горивния процес и безопасност в работата на двигателя като цяло.

От горивната камера газовият поток, който притежава голяма потенциална енергия, постъпва в турбината. Разширявайки се в турбината, газът извършва работа, която се разходва за въртене на компресора и на всички спомагателни агрегати, които обслужват двигателя.

Турбината трябва да развива големи мощности, да има по възможност малко число степени и висок адиабатичен к.п.д. В ТуРД обикновено се използуват едно- или двустепенни газови турбини, адиабатичният к.п.д. на които достига до 0,90.

Ако к.п.д. на компресора и турбината са достатъчно високи, работата, която може да извърши нагретият газ при неговото пълно

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

разширение до атмосферното налягане, ще бъде по-голяма от изразходваната работа за сгъстяване на въздуха в компресора; ето защо в турбината става само частично разширение на газа и зад турбината има по-високо налягане от атмосферното.

В реактивното сопло се извършва по-нататъшно разширяване на газовия поток и увеличаване на скоростта на движението му, в резултат на което скоростта на изтичането на газа превишава скоростта на полета.

* * *

Да разгледаме как се изменят средните значения на налягането, температурата и скоростта на газа по дължината на двигателя.

Характерните сечения по дължината на двигателя са показани на фиг. 96 и 97, където са приети следните обозначения: *0—0* — сечение в несмутения поток пред двигателя, *а—а* — на входа на двигателя, *1—1* —на входа в компресора, *2—2* — на изхода от компресора, *3—3* — на входа в сопловия апарат на турбината, *в—в* — на изхода от турбината, *в'—в'* — на входа в реактивния насадък на реактивното сопло, *4—4* — в изходното сечение на реактивното сопло, *5—5* — на известно разстояние зад двигателя, където газовата струя се разширява до атмосферното налягане.

Към обозначението на средните параметри на газа във всяко сечение е прието да се прибавят индекси, които обозначават това сечение. Например налягането зад компресора се означава с p_2, температурата пред турбината — T_3 и т. н.

Налягането и температурата на въздуха в околната атмосфера при работа на ТуРД в статични условия (на място) се обозначават с p_0 и с T_0, а в полет — с p_H и T_H.

Изменението на средните значения на параметрите на газа по дължината на двигателя при работата му на място (цели линии) и в полет (пунктирни линии) е показано на фиг. 97.

При работа на място въздухът се засмуква от двигателя от неподвижната околна атмосфера, затова неговата скорост пред входа в двигателя (между сеченията *0—0* и *а—а*) нараства, а налягането и температурата намаляват.

Входният канал на двигателя близо до компресора (между сечения *а—а* и *1—1*) понякога се прави със слабо стесняване. Тогава налягането в него малко се намалява, а скоростта се увеличава. Благодарение на това се създава ускорение на въздушния поток, което способствува за изравняване на полето на скоростите и налягания на входа в компресора. В сечение *1—1* скоростта на въздуха обикновено е около 180—200 *м/сек* за осевия и 140—150 *м/сек* за центробежния компресор. Наличието на толкова големи скорости се обяснява с желанието да се намалят диаметралните размери на компресора.

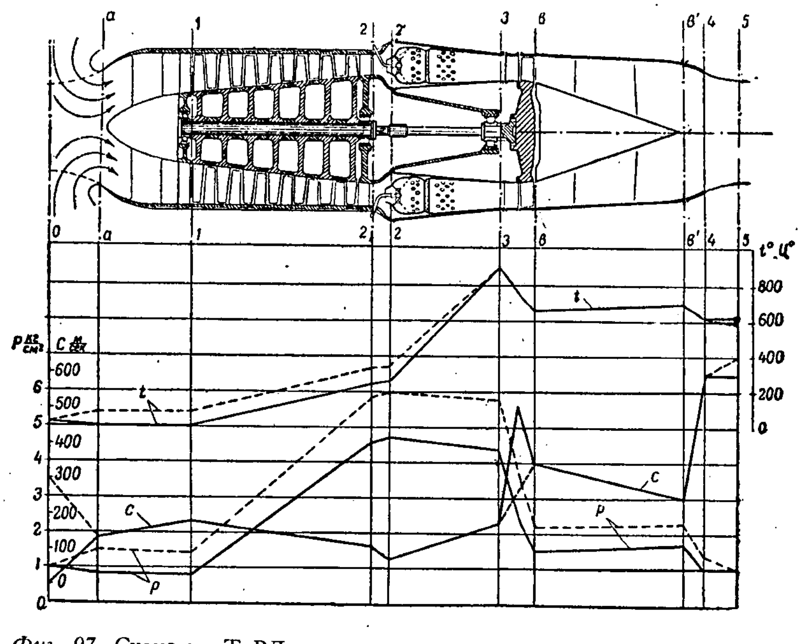
Ще отбележим, че входният участък от дължината на двигателя — от сечение *0—0* до сечение *1—1*, условно се нарича входен дифузор.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Ако скоростта на полета е по-голяма от скоростта на въздуха на входа в компресора, във входния дифузор става сгъстяване на въздуха за сметка на скоростния напор. Обратно, при работа на двигателя на място и при малки скорости на полета налягането във входния дифузор се намалява, което е свързано с ускорението на въздушния поток.

В компресора (между сечения *1—1* и *2—2*) става сгъстяване на въздуха, затова налягането му значително се повишава, едновременно се увеличава и температурата на въздуха, която на изхода от компресора може да достигне повече от 200°С.



Фиг. 97. Схема на ТуРД с осев компресор. Изменение на параметрите на въздушния поток при движението му в двигателя

Осевата съставна на скоростта на въздуха в компресора намалява и величината ѝ в сечение *2—2* не надминава обикновено 100—150 *м/сек*. Между компресора и горивната камера се прави малък дифузор (от сечение *2—2* до сечение *2'—2'*), предназначен за по-нататъшното намаляване на скоростта на въздуха, което способствува за увеличаване на налягането му и осигурява устойчива работа на горивната камера.

При движението на газа в горивната камера (от сечение *2'—2'* до сечение *3—3*) средните значения на температурата и скоростта му се увеличават. Средната допустима температура на газа на входа на турбината, когато няма специално вътрешно охлаждане на лопатките и диска, може да достигне, както се каза, 850—900°С (1120—1170° абс.), а скоростта на газа — 160÷200 *м/сек*.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Увеличаването на скоростта на движението на газа в горивната камера се обяснява със значителното нарастване на относителния му обем от загряването през време на горенето. При това проходните сечения на входа в сопловия апарат на турбината са в състояние да пропуснат увеличилия се обем на газа само при движението му с голяма скорост. Ускорението на газовия поток, а така също и хидравличното съпротивление предизвикват намаляване на налягането. Това може да доведе, както беше отбелязано, до влошаване използуването на топлината в цикъла; ето защо се вземат всички мерки падането на налягането в горивната камера да бъде по възможност по-малко.

В турбината (между сечения *3—3* и *в—в*) налягането и температурата на газа се намаляват. Абсолютната скорост на движението на газа, както е известно от теорията на турбините, в сопловия апарат значително се увеличава, а в работното колело се намалява. При това осевата съставна на скоростта на газа през цялото време нараства, достигайки на изхода от турбината до 300—400 *м/сек*.

Увеличаването на осевата съставна на скоростта на движението на газа в турбината се обяснява със значителното намаляване на неговата плътност и с увеличаването на обемния разход.

В реактивното сопло се осъществява по-нататъшното разширение на газа. Налягането му се намалява, а скоростта продължава да нараства, достигайки на изхода от двигателя 550—650 *м/сек*. Температурата на газа в реактивното сопло пада приблизително със 75—100°C и на изхода е 550—600°C.

Когато разстоянието от турбината до изхода на газа от реактивното сопло е голямо, употребява се така наречената удължителна тръба. Реактивният насадък в такъв случай се закрепва в края на удължителната тръба.

За да се намали скоростта на движението на газа в удължителната тръба и да се понижи нейното хидравлично съпротивление, непосредствено зад турбината (между сечения *в—в* и *в'—в'*) обикновено се прави малък дифузор.

При стендовото изпитание на двигателя, когато не се поставя удължителна тръба, реактивният насадък се закрепва към изходния фланец на дифузора.

На фиг. 97 с пунктирни линии е показано изменението на параметрите на газа по дължината на двигателя в полет близко до земята с голяма скорост. Въздухът пред входа на двигателя се сгъстява от скоростния напор. В резултат на това се увеличава разликата в наляганията в реактивното сопло. Това довежда от своя страна до известно нарастване на скоростта на изхода от двигателя.

Сгъстяването на въздуха от скоростния напор се съпровожда с увеличаване на температурата както на входа в компресора, така и на изхода от него. Това обикновено не предизвиква забележимо изменение на температурата на газа пред турбината. При постоянни обороти тя остава практически постоянна, което се постига чрез съответно регулиране на подаваното гориво.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

* * *

В съществуващите ТуРД се използуват стесняващи се реактивни сопла. Протичането на газа в такива сопла зависи от това, каква е разликата в наляганията в тях: докритическа или свръхкритическа. Величината на критическата разлика в наляганията може приблизително да бъде определена от уравнението $\frac{p_в^*}{p_H} = 1{,}86$.

При докритическите разлики, когато $\frac{p_в^*}{p_H} < 1{,}86$, газът може да се разширява в реактивното сопло до атмосферното налягане. В този случай налягането в изходното сечение ще бъде равно на p_H. Само при наличие на голяма конусност на реактивния насадък (превишаваща 6—10°) налягането p_4 може да се окаже малко по-голямо от p_H.

При свръхкритически разлики, когато $\frac{p_в^*}{p_H} > 1{,}86$, в края на реактивното сопло има налягане, по-голямо от атмосферното. Неговата величина може да се определи от уравнението

$$p_4 \approx \frac{p_в^*}{1{,}86}.$$

Скоростта на газа в изходното сечение на реактивното сопло в този случай ѐ равна на местната скорост на звука.

В ТуРД при работа на стенд разликата в наляганията в реактивното сопло може да бъде както докритическа, така и свръхкритическа. С увеличаване на скоростта и височината на полета налягането зад турбината $p_в^*$ се увеличава, затова в полет разликата в наляганията обикновено става свръхкритическа.

При свръхкритически разлики в наляганията или, както се казва, при свръхкритически режими на изтичането на газа от реактивното сопло в него става непълно разширение на газа. В този случай разширението продължава извън двигателя (между сечения *4—4* и *5—5*).

Изобразяване на работния процес на ТуРД

На фиг. 98 е показана диаграма на изменение състоянието на газа по дължината на двигателя в координатите $p—v$ през време на полета.

Линията *0—1—2* изобразява общия процес на сгъстяване на въздуха, който става последователно в дифузора и в компресора; линията *2—3* изразява изменението на средните параметри на състоянието на газа в горивната камера; линията *3—в—4—5* изразява процеса на разширение в турбината и в реактивното сопло.

Общо разглежданите процеси образуват контура *0—2—3—5*, който може да бъде затворен с изобарата *5—0*, съответствуваща на разсейваната в атмосферата топлина, отвеждана от двигателя заедно

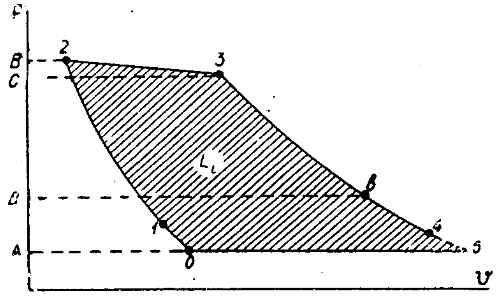
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

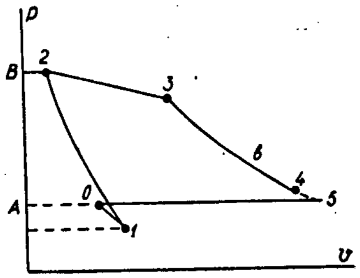
с излизащите газове. Процесът *5—0* протича извън двигателя и неговото изобразяване е условно. Полученият по такъв начин затворен контур *0—2—3—5—0* се нарича действителен цикъл на ТуРД.

Процесът *0—1* при работа на двигателя на място и в полет, както се отбеляза, протича различно. При работа на двигателя на място между сеченията *0—0* и *1—1* (гл. фиг. 97) се извършва не сгъстяване, а разширение на въздуха. Изобразяването на действителния цикъл на ТуРД в координати $p—v$ за този случай е показано на фиг. 99.

Общият процес на сгъстяване на въздуха в ТуРД се изобразява с политропата *0—1—2* (фиг. 98). Площта *A—0—1—2—B*, която се намира вляво от тази политропа, представлява политропичната работа на сгъстяването $L_{п.с}$.



Фиг 98. Диаграма на работния процес на ТуРД в координати $p—v$



Фиг. 99. Диаграма на работния процес на ТуРД при работа на място

Отношението на налягането на въздуха в края на сгъстяването (на изхода от компресора) към налягането в околната атмосфера се нарича степен на сгъстяване на въздуха в двигателя (или степен на повишаване на налягането). Тя е равна на произведението от степените на сгъстяване на въздуха в компресора и във входния дифузор:

$$\varepsilon=\frac{p_2}{p_H}=\frac{p_2}{p_1}\cdot\frac{p_1}{p_H}=\varepsilon_к\varepsilon_{диф}.$$

Очевидно е, че при работа на двигателя на място $\varepsilon_{диф}$ се оказва по-малка от единица и общата степен на сгъстяване на въздуха в този случай е по-малка от степента на сгъстяване на компресора. При големи скорости на полета сгъстяването на въздуха от скоростния напор увеличава общата степен на сгъстяване в сравнение със степента на сгъстяване, създавана от компресора.

Понякога е по-удобно сгъстяването на въздуха в компресора да се разглежда, като се изхожда не от статическото налягане на входа, а от пълното налягане на заприщения въздушен поток пред компресора (двигателя). В този случай

$$\varepsilon=\frac{p_2}{p_H}=\frac{p_2}{p_1^*}\cdot\frac{p_1^*}{p_H}.$$

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Ако степента на сгъстяването се определя по пълното налягане зад компресора, тогава

$$\varepsilon=\frac{p_2^*}{p_H}=\frac{p_2^*}{p_1^*}\cdot\frac{p_1^*}{p_H}=\varepsilon_к^*\varepsilon_{диф}^*.$$

Трябва да се отбележи, че налягането p_2^* много малко се различава от p_2, поради което степените на сгъстяване, определени по пълното и по статическото налягане зад компресора, по своята величина малко се различават една от друга.

Степента на сгъстяване на въздуха в ТуРД се мени в зависимост от изменението на режима на полета и оборотите. При работа на двигателя при земни статически условия на максимални обороти степента на сгъстяване ε за двигателите с центробежни компресори с радиални лопатки е около 4,0—4,5, а за двигателите с осеви компресори е 6—8 и по-голяма. С увеличаването на скоростта и височината на полета степента на сгъстяване на въздуха в ТуРД нараства.

Да разгледаме процеса на разширението на газа в двигателя. Процесът на разширение се осъществява главно в турбината и в реактивното сопло. Трябва да се отбележи обаче, че горивният процес също се съпровожда с падане на налягането, поради което е прието да се отнася към процеса на разширение. В такъв случай общият процес на разширението ще се изобрази с линията *2—3—5*. Площта *B—2—3—5—A*, разположена отляво на тази линия, в координатите $p—v$ ще представлява работата на целия процес на разширението $L_{п.р.}$, която е равна на сумата от политропичните работи на разширението в турбината (площ *c—3—в—B'*), в реактивното сопло (площ *B'—в—5—A*) и работата на разширението в горивната камера (площ *B—2—3—C*).

Площта *0—2—3—5—0*, която представлява действителният цикъл на ТуРД в координатите $p—v$, се нарича индикаторна работа и се означава с L_i. Както се вижда от фиг. 98, индикаторната работа е равна на разликата от политропичните работи на разширението и сгъстяването, т. е.

$$L_i=L_{п.р}-L_{п.с}. \qquad (26)$$

Да изясним как се използува индикаторната работа в ТуРД. За тази цел ще напишем уравнението на Бернули за процеса на сгъстяването на въздуха в двигателя (от сечение *0—0* до сечение *2—2*):

$$L_{е.к}+\frac{c_0^2-c_2^2}{2g}=L_{п.с}+L_{х.с}. \qquad (27)$$

Физическият смисъл на уравнението (27) се състои в това, че ефективната работа $L_{е.к}$, която се изразходва за въртенето на компресора, и изменението на кинетичната енергия на въздуха поради неговото заприщване от скорост c_0 до c_2 (скоростния напор) отиват за сгъстяването на въздуха и за преодоляването на хидравличните загуби.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Аналогично уравнение може да се напише и за процеса разширение (между сеченията *2—2* и *5—5*):

$$L_{п.\,р}=L_{е.\,т}+\frac{c_5^2-c_2^2}{2g}+L_{x.\,р}. \tag{28}$$

Уравнението (28) показва, че политропичната работа при разширението на газа в ТуРД се разходва за създаване на ефективната работа на турбината $L_{е.т}$, за увеличаване на кинетичната енергия на газа и за преодоляване на всички хидравлични загуби през време на разширението.

Може с достатъчна точност да се счита, че в ТуРД цялата работа, създавана от турбината, отива само за въртенето на компресора. Това следва и от факта, че работата, разходвана за движението на спомагателните агрегати и за преодоляване триенето в лагерите на ТуРД, е сравнително малка. Тя съставлява не повече от 1—2% от работата на турбината и почти напълно се покрива от това, че фактическият разход на газа през турбината е по-голям от разхода на въздуха през компресора (с величината на разхода на горивото).

Ако извадим от уравнение 28 уравнение 27 и се възползуваме от приетото допускане, съгласно което $L_{е.к}=L_{е.\,т}$, ще получим

$$L_i=L'_{п.\,р}-L_{п.\,с}=\frac{c_5^2-c_0^2}{2g}+\Sigma L_x,$$

където

$$\Sigma L_x=L_{x.\,с}+L_{x.\,р}.$$

Оттук следва, че индикаторната работа отива за увеличаване на кинетичната енергия на газовата струя, която минава през двигателя, и за преодоляване на всички хидравлични съпротивления в двигателя.

Частта от индикаторната работа, която отива за увеличаването на кинетичната енергия на газа в двигателя, се нарича полезна работа на цикъла на ТуРД.

$$L_ц=L_i-\Sigma L_x=\frac{c_5^2-c_0^2}{2g}. \tag{29}$$

Както се вижда, работата на цикъла е по-малка от индикаторната работа с величината на общите хидравлични загуби в двигателя.

Работата на цикъла зависи от термодинамичните параметри: от степента на сгъстяване и от температурата на газа пред турбината, а така също от коефициентите на полезното действие, с които се оценяват загубите през време на сгъстяването и разширението. Изброените величини, от които зависи работата на цикъла, се наричат параметри на работния процес на ТуРД.

Ще отбележим, че за разлика от к. п. д. на компресора коефициентът на полезното действие на процеса сгъстяване η_c отчита

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

загубите не само в компресора, но и във входните устройства на двигателя и самолета, т. е. отчита всички хидравлични загуби през време на сгъстяването. Коефициентът на полезното действие на процеса разширение η_p отчита загубите в горивната камера, турбината и реактивното сопло, т. е. отчита всички хидравлични загуби през време на разширението.

Основните величини, с които се оценява съвършенството на ТуРД, са относителната теглителна сила и относителният разход на горивото. Относителната теглителна сила може да се изрази чрез работата на цикъла, като се възползуваме от известната ни формула

$$P_{отн}=\frac{c_5-c_0}{g}. \tag{30}$$

Като изразим скоростта c_5 чрез работата на цикъла от формула 29 и поставим полученото значение във формула 30, ще получим, че

$$P_{отн}=\frac{1}{g}\left(\sqrt{2gL_ц+c_0^2}-c_0\right).$$

Относителният разход на горивото се изразява чрез относителната теглителна сила и количеството топлина, което се подвежда в двигателя с горивото на 1 *кг.* въздух:

$$C_{отн}=\frac{3600Q}{\delta H_u P_{отн}}.$$

Поради това относителната теглителна сила и относителният разход на горивото, както и работата на цикъла, ще зависят от параметрите на работния процес. Един от най-важните въпроси на теорията на ТуРД е да се изучи влиянието на тези параметри върху относителната теглителна сила и относителния разход на горивото. Тези въпроси са разгледани на стр. 163—176.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Доцент, кандидат по техническите науки
инженер-подполковник А. Н. ГОВОРОВ

ТЕГЛИТЕЛНА СИЛА, К.П.Д. И ТОПЛИНЕН БАЛАНС НА ТуРД

Преди да се пристъпи към сравняване и оценка на различните ТуРД, необходимо е да се определят характерът и величината на загубите през време на преобразуване на топлинната енергия на горивото в полезна теглителна работа, т. е. в работа, която се извършва от двигателя при полет на самолета.

Теглителна сила и полезна теглителна работа на ТуРД

Теглителната сила на ТуРД представлява равнодействуващата сила от въздействието на въздушния и газовия поток върху елементите по дължината и външната повърхност на двигателя. Това въздействие се състои от налягане и триене.

Както вече се отбеляза по-рано, теглителната сила на ТуРД се определя по формулата

$$P=\frac{G}{g}(c_5-c_0), \tag{31}$$

където c_5 е скорост на изтичането на газовете от реактивното сопло на двигателя.

Във формулата (31) и по-нататък приемаме, че масата въздух, която влиза в двигателя, е равна на масата на газовете, излизащи от двигателя, като пренебрегваме масата на горивото. Това допускане не води до съществена грешка, тъй като тегловният разход на горивото в ТуРД не надминава 1, 5 — 2% от тегловния разход на въздуха. За доказателство на верността на формулата (31) обикновено се използува уравнението за количеството на движението. Обаче верността ѝ може да се докаже и по по-прост начин, предложен от Н. Е. Жуковски.

Нека ТуРД работи на самолет, който лети със скорост c_0 (фиг. 100). Теглителната сила на двигателя, равна на съпротивлението на самолета, се означава с P. Да прекараме три сечения: *0—0* в спокойния поток пред двигателя; *5—5* зад двигателя в мястото, където налягането в струята на газовете, излизащи от реактивното сопло, е равно на атмосферното, и *6—6* зад двигателя на такова разстояние, където кинетичната енергия на струята на изгорелите газове в това

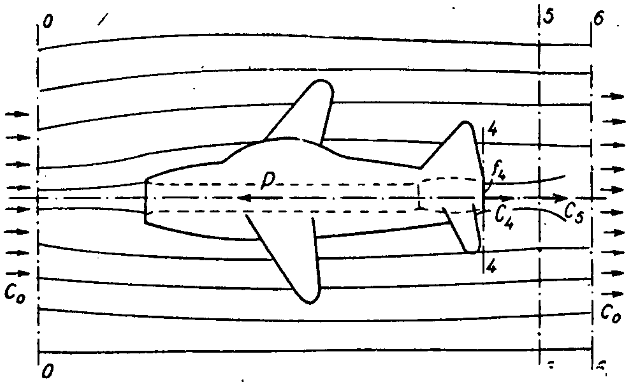
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

сечение може да се счита вече напълно загубена и скоростта на потока във всички точки на сечението равна, както и по-преди, на c_0.

Въздействието на въздушния поток върху двигателя се свежда до увеличаване на кинетичната енергия на преминаващия през него въздух; секундната работа, която отива за увеличаване на кинетичната енергия, се определя от следния израз:

$$\frac{G}{g}\cdot\frac{c_5^2-c_0^2}{2}.$$



Фиг. 100. Към доказателството за верността на формулата за теглителната сила на ТуРД, поставен на самолет, който лети със скорост c_0

Полезната теглителна работа на двигателя за 1 секунда е равна на произведението от теглителната сила и скоростта на полета, т. е. на Pc_0. Що се отнася до загубената работа, то тя е равна на цялата кинетична енергия на газовете, които напускат двигателя, тъй като в сечението *6—6* скоростта навсякъде е равна на c_0. Газовете, излизайки от реактивното сопло, се движат относно двигателя със скорост c_5. В същото време двигателят се придвижва в обратна посока със скорост c_0. Следователно скоростта на газовете, които напускат двигателя, относно околния въздух е равна на разликата $c_5—c_0$. Тогава секундната работа, загубена със струята на газовете, ще бъде равна на $\frac{G}{2g}(c_5-c_0)^2$. Очевидно е, че увеличаването на кинетичната енергия на въздуха ще отиде за създаване на полезна работа и за компенсация на загубите, т. е.

$$\frac{G}{g}\,\frac{c_5^2-c_0^2}{2}=Pc_0+\frac{G}{g}\,\frac{(c_5-c_0)^2}{2}.$$

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Оттук след прости преобразования намираме, че

$$P=\frac{G}{g}(c_5-c_0),*$$

което и трябваше да се докаже.

В теорията на ТуРД всички разчети обикновено се правят за 1 *кг* въздух, който преминава през двигателя. Затова освен пълната теглителна сила P е въведено понятието относителна теглителна сила $P_{\text{отн.}}$, под което се разбира отношението на пълната теглителна сила към разхода на въздуха.

Относителната теглителна сила на ТуРД в съответствие с приведената формула очевидно ще се изрази със следната формула:

$$P_{\text{отн}}=\frac{P}{G}=\frac{c_5-c_0}{g}. \qquad (32)$$

Коефициенти на полезното действие и топлинен баланс на ТуРД

Загубите през време на преобразуването на топлинната енергия в полезна работа се оценяват с коефициентите на полезно действие на двигателя. Да разгледаме термичния, теглителния и пълния к.п.д. на двигателя. Всички величини ще отнасяме към 1 *кг* въздух, който минава през ТуРД.

Термичен к.п.д. на действителния цикъл се нарича отношението на нарастването на кинетичната енергия на въздуха, който преминава през двигателя, към работата, еквивалентна на топлината, подведена в двигателя с горивото:

$$\eta_t=\frac{\dfrac{c_5^2-c_0^2}{2g}}{\dfrac{Q_1}{A}}, \qquad (33)$$

където $\frac{c_5^2-c_0^2}{2g}$ — нарастване на кинетичната енергия за 1 *кг* въздух, който преминава през двигателя;

Q_1 — топлина, подведена с горивото на 1 *кг* въздух.

* Трябва да се отбележи, че тази формула е вярна само тогава, когато налягането на газовата струя непосредствено на самия изход от реактивното сопло p_4 е близко до атмосферното p_H. В съвременните ТуРД много често $p_4>p_H$. В този случай изразът на теглителната сила трябва да бъде

$$P=\frac{G}{g}(c_4-c_0)+(p_4-p_H)f_4,$$

където f_4 — площ на изходното сечение на реактивното сопло, а c_4 — скорост на газа на самия изход от реактивното сопло.

Тази формула се явява общ израз за теглителната сила на ТуРД.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Термичният к.п.д. показва каква част от топлината, подведена в двигателя с горивото, ще се предаде като кинетична енергия на въздуха, който преминава през двигателя. По такъв начин термичният к.п.д. характеризира степента на съвършенство на ТуРД като топлинна машина, предназначена за преобразуването на топлинната енергия на горивото в кинетична енергия на въздуха. Той отчита всички загуби на топлина през време на това преобразуване.

Загубите на топлина се състоят от загуби на топлина с изгорелите газове и загуби вследствие на непълно отделяне на топлината.

Загубите на топлина с изгорелите газове съставляват основната част от загубите в ТуРД. Ако се означи температурата на въздуха с T_0, а температурата на изгорелите газове с T_4, то тези загуби ще бъдат равни на $c_p(T_4—T_0)$, където c_p е средната специфична топлина на продуктите на горенето при постоянно налягане. Загубите на топлина с изгорелите газове достигат до 67—73% от топлината Q_0, подведена с горивото.

Загубите вследствие непълното отделяне на топлина отчитат непълното изгаряне на горивото и отвеждането на топлина през стените на горивните камери, корпуса на турбината и стените на реактивното сопло. Тези загуби са равни на $(1—\delta)\,Q_0$. Обикновено $\delta=0{,}96 \div 0{,}97$. Следователно загубите от непълното отделяне на топлината представляват 3—4% от топлината, подведена с горивото. Затова термичният к.п.д. на турбо-реактивния двигател се колебае обикновено в границите $\eta_t \approx 0{,}24 \div 0{,}30$. Величината на термичния к.п.д. зависи от параметрите на работния процес на двигателя — степента на сгъстяване на въздуха и температурата на газовете в края на горивния процес, а така също от хидравличните загуби при движението на въздуха.

Теглителен к.п.д. се нарича отношението на полезната теглителна работа, извършена от двигателя, към нарастването на кинетичната енергия на въздуха, който преминава през двигателя:

$$\eta_P=\frac{P_{\text{отн}}\,c_0}{\frac{c_5^2-c_0^2}{2g}}, \tag{34}$$

където $P_{\text{отн}}\,c_0$ е полезната теглителна работа, отнесена за 1 *кг* въздух.

Теглителният к.п.д. показва каква част от нарастването на кинетичната енергия на въздуха в двигателя се превръща в полезна теглителна работа. Той характеризира степента на съвършенство на ТуРД като движител, предназначен за превръщане на кинетичната енергия на въздуха в полезна теглителна работа.

Ако термичният к.п.д. може да се сравни с ефективния к.п.д. на буталния авиационен двигател, то теглителният к.п.д. трябва да се съпостави с к.п.д. на въздушното витло.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Като заместим във формула 34 относителната теглителна сила с нейния израз от уравнение 32, ще получим

$$\eta_p = \frac{\frac{(c_5-c_0)c_0}{g}}{\frac{c_5^2-c_0^2}{2g}} = \frac{2c_0}{c_5+c_0} = \frac{2}{1+\frac{c_5}{c_0}}. \qquad (35)$$

Теглителният к.п.д. в посочения вид за първи път е въведен от Н. Е. Жуковски, а за ТуРД най-напред е бил приложен от академик Б. С. Стечкин. Теглителният к.п.д. отчита загубите на кинетичната енергия с продуктите на горенето, които излизат от двигателя. Тези загуби, както се отбеляза вече, са равни на $\frac{(c_5-c_0)^2}{2g}$. Както се вижда от формулата (35), теглителният к.п.д. зависи от отношението на скоростта на излизащите газове към скоростта на полета. Колкото това отношение е по-голямо, толкова е по-малък η_p. Това е ясно: с нарастване на отношението $\frac{c_5}{c_0}$ расте и скоростта на газовете, които излизат от двигателя, по отношение на атмосферния въздух (c_5-c_0) и съответно растат загубите на кинетичната енергия. При $c_0=0$ $\eta_p=0$, което е очевидно, защото при това полезната теглителна работа става равна на нула и цялата кинетична енергия на газовете на изхода от двигателя е загубена. Теглителният к.п.д. достига единица при $c_5=c_0$, тъй като в този случай скоростта на газовете на изхода от двигателя по отношение на атмосферния въздух става равна на нула. Обаче, както се вижда от формула 31, теглителната сила на двигателя при това става равна на нула. Ето защо на практика се налага да се води борба за получаване на по-висок теглителен к.п.д. при приемливи значения на относителната теглителна сила на двигателя. Коефициентът η_p за съществуващите ТуРД се колебае в широки граници в зависимост от скоростта на полета. Неговата максимална величина обикновено не надминава 0, 5 — 0, 65.

Пълен к.п.д. на ТуРД се нарича отношението на полезната теглителна работа на двигателя към работата, еквивалентна на топлината, подведена в двигателя с горивото

$$\eta_п = \frac{P_{отн}\, c_0}{\frac{Q}{A}}. \qquad (36)$$

Пълният к.п.д. отчита всички загуби през време на превръщането на топлинната енергия в полезна теглителна работа. При съпоставяне на уравненията 33, 34 и 36 се вижда, че

$$\eta_п = \eta_t\, \eta_p. \qquad (37)$$

При работа на двигателя на място пълният к.п.д. е равен на нула, защото при това $\eta_p=0$. Физически това се обяснява с факта, че теглителната работа на двигателя на място е равна на нула. В полет пъл-

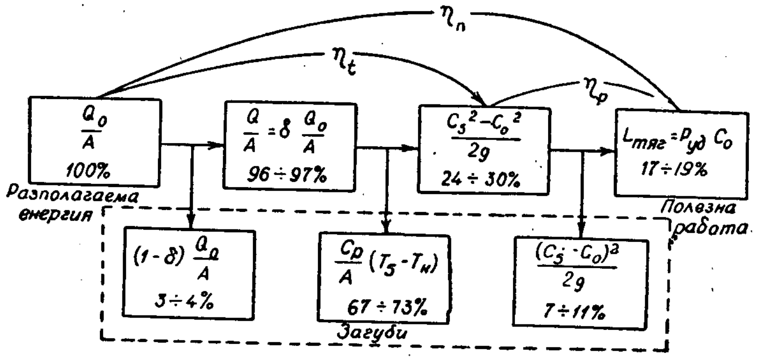
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ният к.п.д. на съществуващите ТуРД обикновено не надминава 17 — 19%.

Анализът на термичния, теглителния и пълния к.п.д. показва, че през време на превръщането на топлинната енергия на горивото в полезна теглителна работа загубите се получават: за сметка на непълното изгаряне на горивото и излъчването на топлина през стените на двигателя — 3—4%; за сметка на загубите на топлинна енергия с изгорелите газове c_p $(T_б—T_H)$—67÷73%; с газовата струя (във вид на кинетична енергия) $\frac{(c_б-c_0)^2}{g}$ — около 7—11%. Следователно от топлината, подведена в двигателя, в полезна теглителна работа се превръщат само 17—19%.

Процесът на превръщане на топлината, подведена с горивото, в полезна теглителна работа схематически е изобразен на фиг. 101.



Фиг. 101. Топлинен баланс на ТуРД

Хоризонталните стрелки показват последователността на превръщането на топлината в теглителна работа, а вертикалните — загубите на всеки етап от превръщането. На фиг. 101 са дадени в проценти средните значения на всички загуби в ТуРД от подведената с горивото топлина.

Основни относителни параметри, характеризиращи съвършенството на ТуРД

По-удобно е реактивните двигатели от гледна точка на тяхното приложение като силови авиационни установки да се оценяват по относителните параметри. Най-важни параметри на ТуРД са относителната теглителна сила, относителният разход на гориво, относителното тегло на двигателя и относителната челна теглителна сила.

Относителна теглителна сила на двигателя $P_{отн}$, както вече се отбеляза, се нарича отношението на теглителната сила на двигателя към секундния тегловен разход на въздуха през двигателя.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Относителната теглителна сила характеризира относителните размери и теглото на двигателя: колкото по-голяма е относителната теглителна сила, толкова по-малки са размерите и теглото на двигателя при дадената теглителна сила.

За съществуващите ТуРД величината на относителната теглителна сила достига

$$P_{отн}=55\div65[кг.сек/кг].$$

Относителен разход на горивото $C_{отн}$ се нарича отношението на часовия разход на гориво към теглителната сила на двигателя:

$$C_{отн}=\frac{G_{г.\,час}}{P}[кг/кг.час].$$

Относителният разход на горивото е твърде важна величина, която характеризира икономичността на ТуРД; колкото относителният разход на гориво е по-малък, толкова по-големи ще бъдат далечината и продължителността на полета при даден запас на гориво. За съществуващите ТуРД относителният разход на гориво се движи в граници $C_{отн}=0{,}9\div1{,}1$.

Относително тегло на двигателя $g_{дв}$ се нарича отношението на сухото тегло на двигателя $G_{дв}$ към развиваната от него статическа теглителна сила:

$$g_{дв}=\frac{G_{дв}}{P}[кг/кг.тегл.сила].$$

Относителното тегло на двигателя характеризира силовата установка в тегловно отношение. Относителното тегло на съществуващите ТуРД е $0{,}2\div0{,}4$.

Относителна челна теглителна сила на двигателя $P_{чел}$ се нарича отношението на теглителната сила на двигателя P при работа на място към максималната площ на напречното сечение (челната площ) на двигателя:

$$P_{чел}=\frac{P}{F_{чел}}[кг/м^2].$$

Относителната челна теглителна сила косвено характеризира аеродинамичното съпротивление на силовата установка: колкото $P_{чел}$ е по-голяма при дадена теглителна сила, толкова по-малко е съпротивлението, което създава силовата установка.

За ТуРД с центробежни компресори относителната челна теглителна сила е равна $P_{чел}=1500\div2200$ $кг/м^2$, а за ТуРД с осеви компресори $P_{чел}=3500\div5000$ $кг/м^2$.

Ясно е, че правилната оценка на съвършенството на ТуРД може да бъде извършена само при едновременното разглеждане на всички основни относителни параметри на двигателя.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Доцент, кандидат по техническите науки
инженер-майор Ю. Н. НЕЧАЕВ

ЗАВИСИМОСТ НА ОТНОСИТЕЛНАТА ТЕГЛИТЕЛНА СИЛА И ОТНОСИТЕЛНИЯ РАЗХОД НА ГОРИВО НА ТуРД ОТ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНИЯ ПРОЦЕС

За сравняване летателните качества на турбо-реактивните двигатели е прието да се използуват относителните параметри. Основни от тях са относителната теглителна сила $P_{отн}$ и относителният разход на горивото $C_{отн}$. За подобряване на данните на ТуРД се стремят да увеличат $P_{отн}$ и да намалят $C_{отн}$. Увеличаването на относителната теглителна сила довежда до намаляване на секундния разход на въздуха през двигателя, необходим за получаване на исканата обща теглителна сила. А това от своя страна води до намаляване диаметралните размери и теглото на двигателя. Намаляването относителния разход на горивото при равни други условия води до намаляване на неговия часов разход, а следователно и до подобряване икономичността на двигателя.

Относителната теглителна сила и относителният разход на горивото на ТуРД, както вече се отбеляза, зависят от степента на сгъстяване на въздуха в двигателя ε, от температурата на газа пред турбината T_3 и от коефициентите на полезното действие на процесите сгъстяване и разширяване η_c и η_p. Да разгледаме зависимостта на относителната теглителна сила и относителния разход на горивото от всеки от посочените фактори по отделно и преди всичко от степента на сгъстяване и от температурата на газа пред турбината. Подобен анализ позволява да се изясни в каква степен изборът на един или друг изходен параметър влияе върху основните данни на ТуРД

Зависимост на относителната теглителна сила и относителния разход на горивото от степента на сгъстяване на въздуха

Да изясним преди всичко влиянието, което оказва степента на сгъстяване на въздуха в двигателя $\varepsilon = \frac{p_2}{p_H}$ върху величината на неговата относителна теглителна сила.

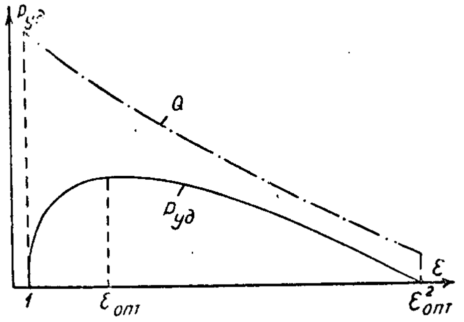
Приблизителният характер на зависимостта на относителната теглителна сила от степента на сгъстяване при постоянна температура на газа пред турбината е показан на фиг. 102. От тази фигура се вижда, че при увеличаване степента на сгъстяване относителната

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

теглителна сила отначало нараства, а след това, достигайки максималното си значение, започва да намалява. Степента на сгъстяване, при която относителната теглителна сила достига най-голямото си значение, се нарича **оптимална степен на сгъстяване** и се означава с $\varepsilon_{опт}$.

Указаното изменение на относителната теглителна сила от изменението степента на сгъстяване има просто физическо обяснение. Относителната теглителна сила на ТуРД зависи от два фактора: от количеството топлина, което се предава на всеки килограм въздух, преминаващ през двигателя, и от ефективността на използуване на тази топлина.



Фиг. 102. **График на зависимостта на относителната теглителна сила от степента на сгъстяване**

Количеството на подвежданата топлина $Q=c_p(T_3-T_2)$ се определя от допустимата температура на газа T_3 пред турбината. При постоянна температура T_3 количеството на предаваната на газа топлина Q с увеличаването на степента на сгъстяване непрекъснато се намалява, тъй като нараства температурата T_2 на изхода от компресора (гледай фиг. 102). От друга страна, с увеличаването на степента на сгъстяване (до определена граница) се подобрява ефективността на превръщането на подвежданата топлина в полезна работа.

В резултат на влиянието на тези два противоположно действуващи фактора относителната теглителна сила с увеличаването степента на сгъстяване отначало нараства дотогава, докато преобладава влиянието на подобреното използуване на топлината, а след това започва да пада вследствие намаляване количеството на предаваната на газа топлина.

При много високи степени на сгъстяване относителната теглителна сила става равна на нула. Това се обяснява с факта, че температурата T_2 на изхода от компресора се приближава към допустимата температура на газа пред турбината T_3 и количеството на предаваната на газа топлинна енергия се оказва вече толкова малко, че стига само за преодоляване на хидравличните загуби в двигателя. Може да се докаже, че степента на сгъстяване, при която относителната теглителна сила става равна на нула, е равна на оптималната

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

степен на сгъстяване на квадрат. А оптималната степен на сгъстяване $\varepsilon_{опт}$ може да се определи по формулата

$$\varepsilon_{опт}=\left(\frac{T_3}{T_H}\eta_c\eta_p\right)^{1,75}.$$

От тази формула се вижда, че оптималната степен на сгъстяване на ТуРД нараства с увеличаване температурата на газа T_3 пред турбината и к.п.д. на процесите сгъстяване и разширение. По-конкретно, при запазване на изброените величини оптималната степен на сгъстяване малко нараства с увеличаване височината на полета (поради намаляване температурата на околния въздух T_H) и остава постоянна при изменяне скоростта на полета.

Ще напомним, че общата степен на сгъстяване на въздуха в двигателя е равна на произведението от степените на сгъстяване на въздуха във входния дифузор и в компресора, поради което оптималната степен на сгъстяване може да се представи в следния вид:

$$\varepsilon_{опт}=\varepsilon_{диф}\varepsilon_{к.опт},$$

където $\varepsilon_{к.опт}$ е степента на сгъстяване на въздуха в компресора, която осигурява максимална относителна теглителна сила при дадения режим на полета.

Оттук се вижда, че макар с увеличаване на скоростта на полета $\varepsilon_{опт}$ да остава постоянна, $\varepsilon_{к.опт}$ се намалява. Това се обяснява с увеличаването степента на сгъстяване на въздуха във входния дифузор от скоростния напор. При много големи скорости на полета оптималната степен на сгъстяване на въздуха в компресора може да стане равна на единица. Това ще означава, че при такива скорости за осигуряване на максимална относителна теглителна сила използването на компресора става нецелесъобразно и трябва да се премине към безкомпресорния (правопоточния) ВРД. Скоростите на полета, при които $\varepsilon_{к.опт}$ се намалява до единица, са твърде големи — те са 2,5—3 пъти по-големи от скоростта на звука.

На фиг. 103 са показани графиците на изменението на относителната теглителна сила в зависимост от степента на сгъстяване за различни температури на газа пред турбината и за различни режими на полета. Върху всяка крива с точки са отбелязани максималните значения на относителните теглителни сили, съответствуващи на оптималните степени на сгъстяване.

Както се вижда от тези графици, оптималната степен на сгъстяване на ТуРД при работа близко до земята и на място (за допустимите засега температури на газа пред турбината) е равна на 6,5—7,5, а на височина 11 *км* се увеличава до 10—12.

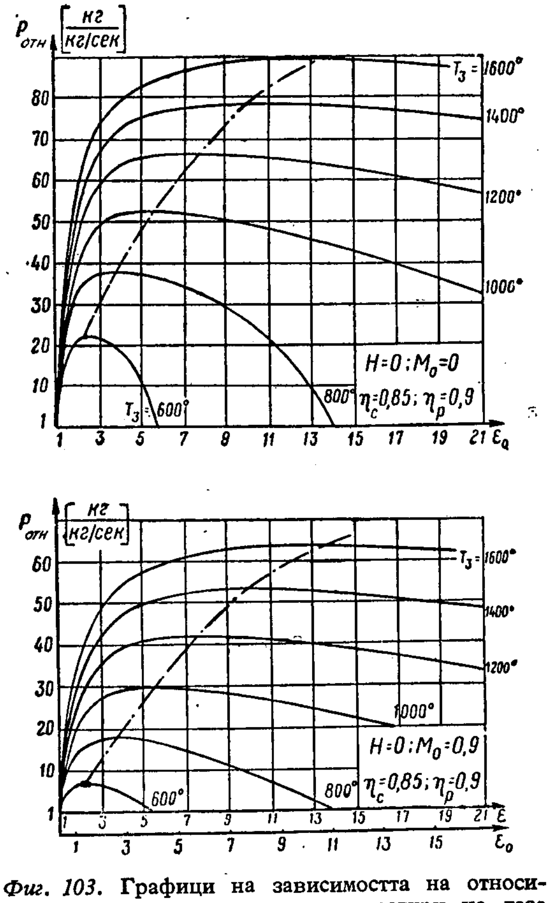
Освен това от тези графици се вижда също и влиянието на температурата на газа пред турбината върху $P_{отн}$. Увеличаването на температурата на газа пред турбината води до увеличаване на относителните теглителни сили, а също до преместване максимумите на кривите на относителните теглителни сили към страната на големите значения на степените на сгъстяване.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Влиянието на температурата на газа пред турбината ще бъде разгледано по-подробно по-нататък.

Графиците на фиг. 103, характеризиращи работата на ТуРД в полет, имат по абсцисната си ос освен мащаб за степента на сгъстяване ε и втори мащаб за степента на сгъстяване ε_0, приведена към земни статически условия. Тя се определя от равенството на адиабатичните работи на компресора на земята и в полет. Сравне-



Фиг. 103. **Графици на зависимостта на относи- за различните температури на газа**

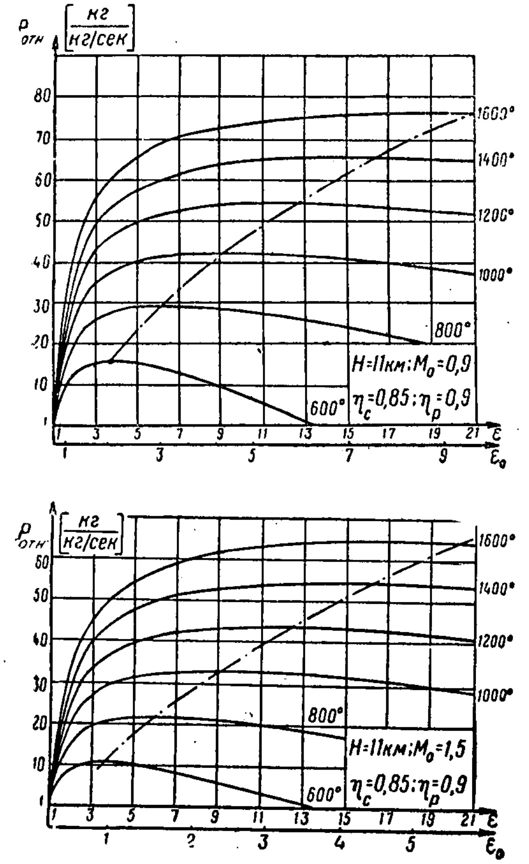
нието на степента на сгъстяване ε_0 при различните режими на полет показва, че с увеличаването на скоростта и височината на полета изходната степен на сгъстяване на компресора, необходима за получаване на максимална относителна теглителна сила в полет, се намалява.

Характерно за разглежданите криви се явява твърде слаботo изменение на относителната теглителна сила в широк диапазон на

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

изменение на степента на сгъстяване и особено при високите значения на температурата на газа пред турбината. От фиг. 103 например се вижда, че при температура на газа пред турбината $T_3 = 1200^0$ абс. повишаването на степента на сгъстяване на въздуха от 4 на 7,5 при работа на двигателя при земни статически условия дава увеличаване на относителната теглителна сила с не повече от $3^0/_0$. Това показва, че величината на степента на сгъстяване, ако тя не е много



телната теглителна сила от степента на сгъстяване пред турбината и от режимите на полета

малка, не оказва съществено влияние върху относителната теглителна сила на ТуРД.

Да разгледаме сега как величината на степента на сгъстяване на въздуха в ТуРД влияе върху относителния разход на гориво. За тази цел да разгледаме формулата

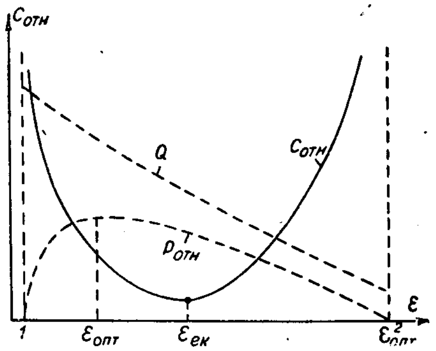
$$C_{\text{отн}} = \frac{3600\,Q}{\delta H u P_{\text{отн}}}. \tag{38}$$

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Ако $\varepsilon=1$, относителният разход на горивото $C_{отн}$ се стреми към безкрайност, което се обяснява с това, че при $\varepsilon = 1$ относителната теглителна сила е равна на нула (гл. формула 38). С увеличаване степента на сгъстяване от 1 до $\varepsilon_{опт}$ относителният разход на горивото се намалява за сметка на увеличаването на $P_{отн}$ и намаляването на Q.

Обаче при $\varepsilon_{опт}$ относителният разход на горивото още не достига своето най-малко значение. Това се обяснява с факта, че кривата на относителната теглителна сила близо до максимума е твърде полегата, а Q непрекъснато пада. Ето защо относителният разход на гориво продължава да пада.



Фиг. 104. **График на зависимостта на относителния разход на гориво от степента на сгъстяване**

Поради посочените причини степента на сгъстяване, която съответствува на най-малкото значение на относителния разход на гориво, винаги ще бъде по-голяма от оптималната. Тази степен на сгъстяване ще наричаме икономическа или оптимална по относителния разход на гориво и ще я означаваме с $\varepsilon_{ек}$.

При степени на сгъстяване, по-големи от $\varepsilon_{ек}$, относителният разход на гориво вече започва да нараства и при $\varepsilon^2_{опт}$ се стреми към безкрайност, тъй като относителната теглителна сила отново става равна на нула.

Характерът на зависимостта на относителния разход на гориво $C_{отн}$ от степента на сгъстяване е показан на фиг. 104. Тук с пунктирни линии са изобразени кривите на $P_{отн}$ и Q, пренесени от фиг. 102.

Графиците на изменението на относителния разход на гориво в зависимост от степента на сгъстяване за различни температури на газа пред турбината, а също за различни режими на полета са показани на фиг. 105.

При сравняване на тези графици с кривите на фиг. 103 се вижда, че при еднакви температури на газа пред турбината и при равни други условия степените на сгъстяване, при които се достига най-малък относителен разход на гориво, са значително по-високи

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

от степените на сгъстяване, които съответствуват на максимума на относителната теглителна сила. Ето защо увеличаването на степента на сгъстяване позволява значително да се намали относителният разход на горивото. Така например от фиг. 105 следва, че в статически условия при температура $T_3 = 1200^0$ абс. увеличаването на степента на сгъстяване от 4 на 7,5 ще доведе до намаляване на относителния разход на горивото от 1,1 на 0,92, т. е. с $20^0/_0$.

Икономическите степени на сгъстяване, както се вижда от фиг. 105, са много големи. При $T_3 = 1200^0$ абс. икономическата степен на сгъстяване се получава по-голяма от 20. При такива високи степени на сгъстяване относителният разход на горивото в статически условия може да бъде сведен до 0,7 *кг/кг тегл. сила час.*

Трябва да се обърне внимание и на това, че с увеличаването на температурата на газа пред турбината икономическата степен на сгъстяването се увеличава.

Приведените данни показват, че за получаване на относителни разходи на горивото, близки до минималните, необходими са много високи степени на сгъстяване на въздуха. Обаче получаването на високи степени на сгъстяване е свързано с усложняване конструкцията на двигателя и с увеличаване на теглото и размерите му. Увеличаването на степените на сгъстяване е затруднено особено при двигатели с едностепенни центробежни компресори с радиални лопатки, в които обикновено не може да се получат степени на сгъстяване, по-високи от 5. Заедно с това виждаме, че увеличаването степените на сгъстяване на въздуха в ТуРД е твърде ефикасно средство за подобряване на тяхната икономичност и поради това има големи перспективи.

След като се разгледа зависимостта на относителната теглителна сила и относителния разход на горивото от степента на сгъстяване, можем да изкажем някои общи съображения относно избора на степента на сгъстяване на ТуРД.

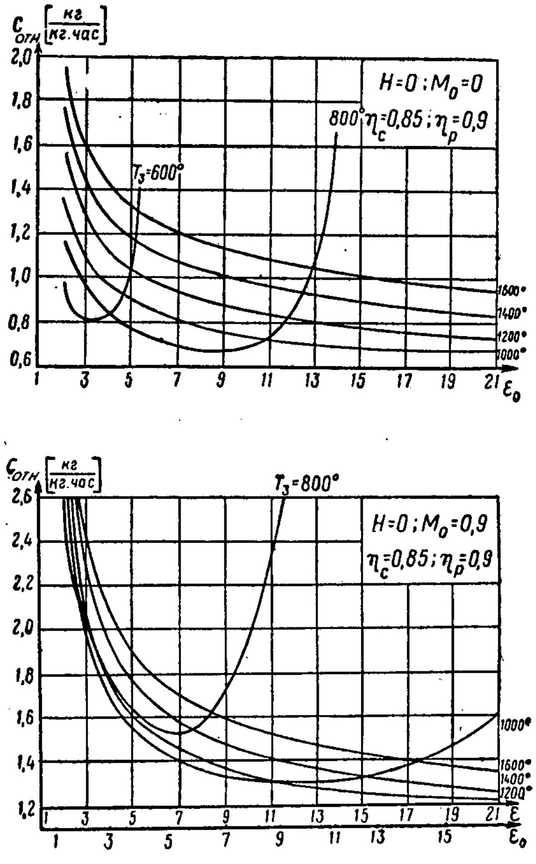
Степента на сгъстяване трябва да се избира в зависимост от назначението на двигателя. Ако двигателят е предназначен за самолет-изтребител, разчетен за големи скорости на полет, към него най-напред се предявяват изисквания за малко относително тегло и голяма относителна теглителна сила. В този случай целесъобразно е да се подбира степен на сгъстяване, която при земни статически условия е равна на 5—7 и осигурява относителна теглителна сила, близка до максималната, и приемлив относителен разход на гориво за такива двигатели.

Двигател, който е предназначен за бомбардировач или за транспортен самолет, трябва на първо място да има малък относителен разход на гориво. В този случай могат да бъдат подбрани по-високи степени на сгъстяване — около 8—10 и повече. Двигател с такава степен на сгъстяване трябва да има осев компресор и многостепенна газова турбина. Неговото тегло и размери малко се увеличават, но пък той ще има в полет нисък относителен разход на гориво, близък до минималния.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

По такъв начин при избора на степента на сгъстяване на ТуРД през време на тяхното проектиране се изхожда главно от условията за получаване на необходимия относителен разход на горивото, а не от максималната относителна теглителна сила.



Фиг. 105. **График на зависимостта на относи- стяване за различни температури на газа пред**

Зависимост на относителната теглителна сила и относителния разход на гориво от температурата на газа пред турбината

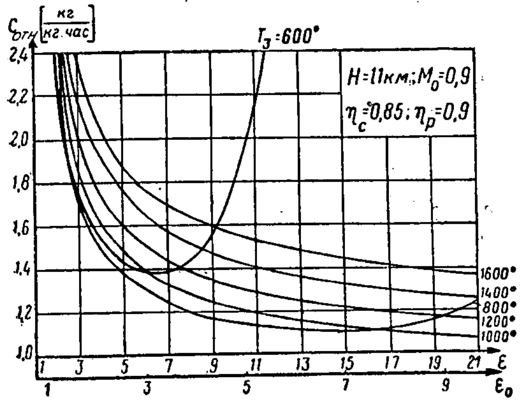
Да разгледаме как температурата на газа пред турбината влияе върху относителната теглителна сила и относителния разход на гориво на ТуРД при условие, че режимът на полета и степента на сгъстяване остават постоянни.

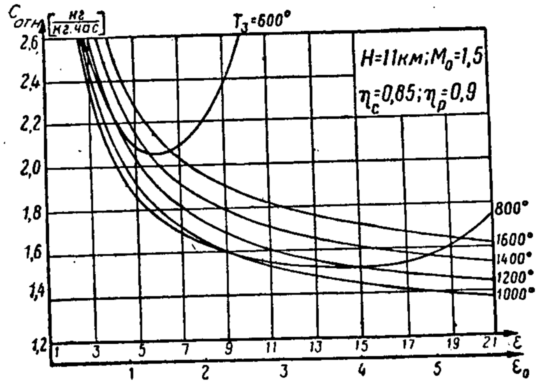
Зависимостта на относителната теглителна сила от температурата на газа пред турбината при равни други условия е показана на фиг. 106. От тази фигура се вижда, че температурата на газа пред турбината влияе твърде силно върху относителната теглителна сила на

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ТуРД. Увеличаването на температурата T_3 предизвиква значително нарастване на относителната теглителна сила, а намаляването на T_3 — бързото й падане и при известно значение на температурата $T_{3\,мин}$ относителната теглителна сила става равна на нула. Това





телния разход на горивото от степента на съ-
турбината и за различни режими на полета

се обяснява с факта, че при намаляване на температурата T_3 количеството на подведената топлинна енергия рязко намалява и при $T_{3\,мин}$ напълно се разходва за преодоляване на загубите в двигателя: двигателят започва да работи на празен ход.

Относителният разход на горивото с увеличаване на температурата на газа пред турбината първоначално пада, при известна температура $T_{3\,ек}$ достига до най-малкото си значение, а след това започва незначително да се увеличава. При температура $T_{3\,мин}$ относителният разход на горивото, както следва от формула 38, ще бъде безкрайно голям, тъй като относителната теглителна сила при това е равна на нула.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

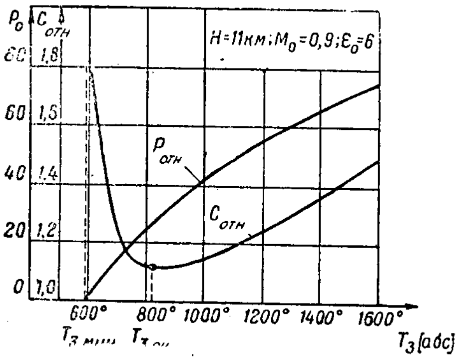
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

За да се обясни характерът на зависимостта на относителния разход на горивото от температурата на газа пред турбината, ще разгледаме предварително как температурата T_3 влияе върху теглителния, термичния и пълния к. п. д. на двигателя.

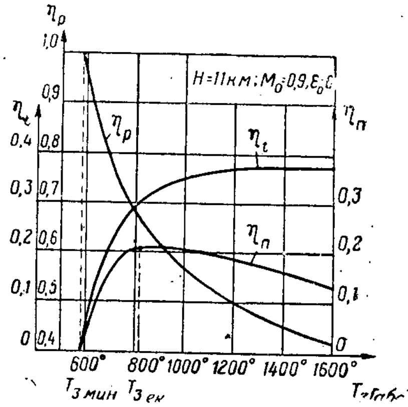
Теглителният к. п. д., както е известно, се изразява чрез скоростта на полета и скоростта на изтичането на газовете по следния начин:

$$\eta_P=\frac{2c_0}{c_5+c_0}. \qquad (39)$$

В разглеждания от нас случай скоростта на полета остава постоянна, а скоростта на изтичането на газовете е свързана с относителната теглителна сила с израза $c_5=c_0+g\ P_{\text{отн}}$. Ето защо при температура $T_{3\,\text{мин}}$, когато относителната теглителна сила става равна на нула,



Фиг. 106. График на зависимостта на относителната теглителна сила и относителния разход на горивото от температурата на газа пред турбината



Фиг. 107. График на зависимостта на термичния, теглителния и пълния к.п.д. от температурата на газа пред турбината

теглителният к.п.д. е равен на единица. С увеличаване на температурата T_3 относителната теглителна сила нараства, а теглителният к.п.д., както се вижда от формула 39, през цялото време намалява.

Намаляването на теглителния к.п.д. с нарастването на температурата на газа пред турбината се обяснява физически с това, че в дадения случай се увеличава скоростта на изтичането на газа от реактивното сопло, а това води до увеличаване на загубите от скоростта на изтичащите газове.

Термичният к.п.д. на действителния цикъл на ТуРД при температура $T_{3\,\text{мин}}$ е равен на нула. С увеличаване на температурата на газа пред турбината той непрекъснато се увеличава. Това се обяснява с факта, че с нарастването на T_3 общото количество на топлинна енергия, която се подвежда в двигателя, нараства твърде интензивно T_3, а частта от нея, която при равни други условия се раз-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ходва за преодоляване на хидравличните загуби в двигателя, остава практически постоянна. Затова относителната част на използуваната топлина се увеличава, а тази на загубената — се намалява. Трябва да се обърне внимание на това, че увеличаването на термичния к.п.д. с нарастване на абсолютното значение на температурата T_3 става все по-незначително (фиг. 107).

Пълният к.п.д., който е равен на произведението от теглителния и термичния к.п.д., с нарастването на температурата T_3 отначало се увеличава дотогава, докато преобладаваща роля играе увеличаването на термичния к.п.д., а след това, достигайки максималното си значение при температура $T_{3\,ек}$, започва да намалява (гледай фиг. 107). По такъв начин намаляването на пълния к.п.д. на ТуРД при значително увеличаване на температурата на газа пред турбината се обяснява с интензивното падане на теглителния к.п.д. при твърде малкото увеличаване на термичния к.п.д.

Относителният разход на гориво при определена скорост на полета е обратно пропорционален на пълния к.п.д., поради което с нарастване температурата на газа пред турбината той отначало намалява, докато нараства интензивно термичният к.п.д. (подобрява се използуването на топлината), а след това започва да се увеличава за сметка на намаляването на теглителния к.п.д. Зависимостите на теглителния, термичния и пълния к.п.д. от температурата на газа пред турбината са показани на фиг. 107.

На фиг. 108 са дадени графиците на зависимостта на относителния разход на горивото от температурата T_3 за различни степени на сгъстяване при работа на ТуРД на място и в полет. От тези графици се вижда, че температурата $T_{3\,ек}$ нараства с увеличаването на степента на сгъстяване. Заедно с това при определено значение на ε темпертурата T_3 нараства и вследствие увеличаването на скоростта на полета.

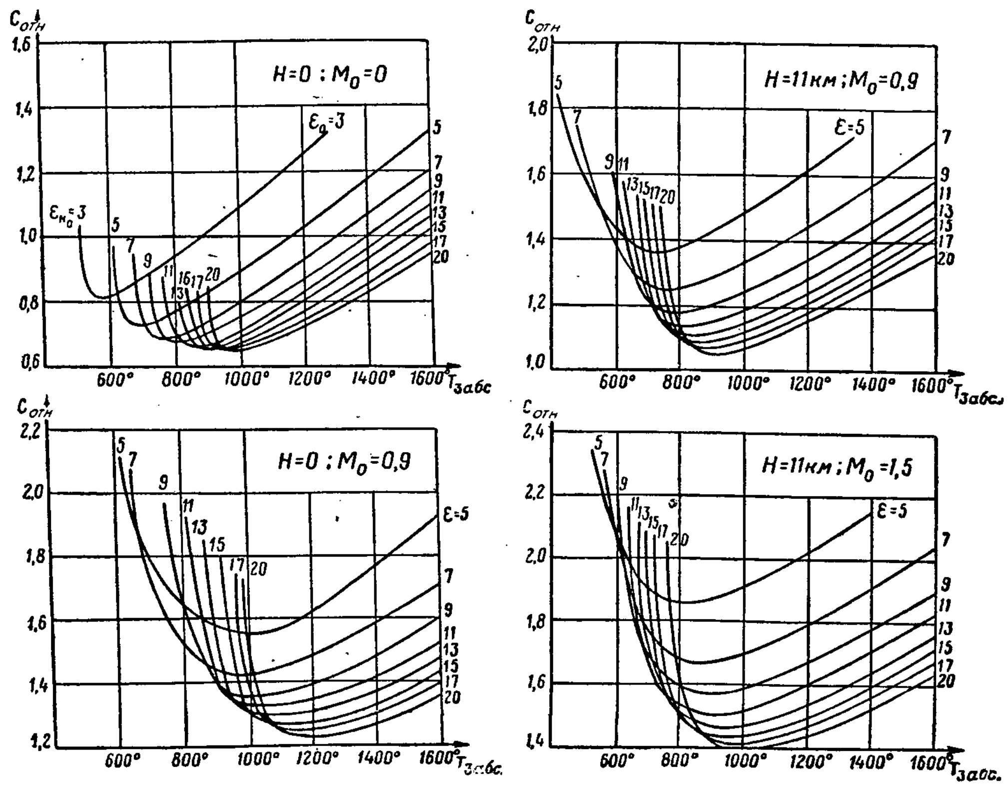
Трябва да се отбележи, че температурата на газа пред турбината в сегашните турбо-реактивни двигатели при съществуващите степени на сгъстяване на въздуха в статически условия, равни на 5—7, достига 1150—1200° абс. и малко надминава най-изгодното си по икономичност значение. Температурата, при която относителният разход на горивото е най-малък, при същите степени на сгъстяване е равна на 800—900° абс. (гледай фиг. 108). Такъв избор на температурата на газа пред турбината се обяснява със стремежа да се увеличи относителната теглителна сила и да се създаде по-компактен и по-лек двигател.

По такъв начин увеличаването на температурата на газа пред турбината служи като твърде ефикасно средство за увеличаване на относителната теглителна сила. Относителният разход на горивото при това нараства по-слабо, особено в полет. Увеличаването на температурата на газа пред турбината със 100° предизвиква увеличаване на $P_{отн}$ с 10 — 15%, докато $C_{отн}$ се увеличава само с 5—8%.

Следователно при съществуващите значения на температурата T_3 по-нататъшното намаляване на относителните разходи в ТуРД

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6



Фиг. 108. Графици на зависимостта на относителния разход на гориво от температурата на газа $T_з$ при работа на ТуРД на място и в полет

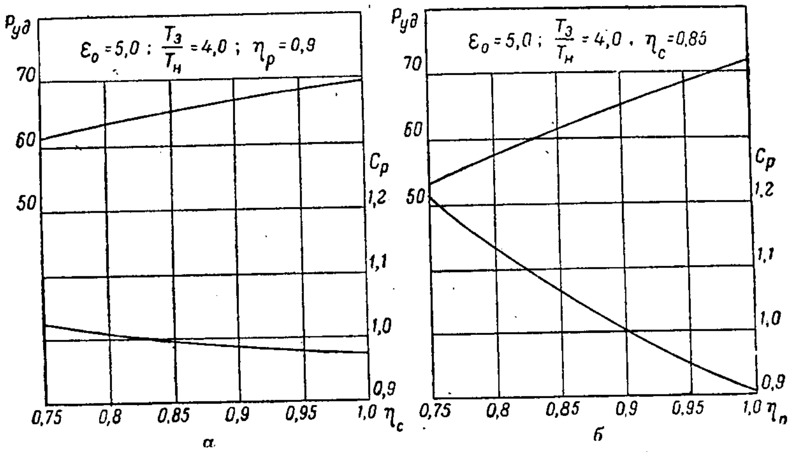
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

може да бъде постигнато за сметка на увеличаването на степента на сгъстяване на въздуха. Относителната теглителна сила може да се увеличи чрез нарастване температурата на газа пред турбината, което е свързано с известно увеличаване на относителния разход на гориво. За да не се увеличава относителният разход на горивото при нарастване на температурата T_3, необходимо е едновременно да се преминава и на по-високи степени на сгъстяване.

Зависимост на относителната теглителна сила и относителния разход на гориво от к.п.д. на процесите сгъстяване и разширение

При увеличаване на коефициентите на полезното действие на процесите сгъстяване и разширение η_c и η_p (характеризиращи хидравличните загуби в двигателя) относителната теглителна сила на ТуРД расте, а относителният разход на горивото намалява. Това се вижда от графиците, показани на фиг. 109. Коефициентът на полезното действие на процеса разширение оказва по-голямо влияние върху относителната теглителна сила, отколкото к.п.д. на процеса сгъстяване (гледай фиг. 109, *а* и *б*). Това са обяснява с факта,



Фиг. 109. Графици на зависимостта на относителната теглителна сила и относителния разход на горивото на ТуРД от величината на к. п. д.:
а — сгъстяване (η_c); *б* — разширение (η_p)

че самата работа на разширението по своята величина превишава работата за сгъстяването. Ето защо загубата на 1% от работата на разширението оказва по-силно влияние върху величината на $P_{отн}$, отколкото същата загуба от работата за сгъстяването. Изчисленията показват, че изменението на к.п.д. на процеса сгъстяване с 1% предизвиква изменение на относителната теглителна сила средно също с 1%,

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

а същото изменение на к.п.д. на процеса разширение изменя $P_{отн}$ с 1,5%.

Коефициентът на полезното действие на процеса сгъстяване влияе в по-голяма степен на относителната теглителна сила, отколкото на относителния разход на горивото. Това се обяснява с факта, че с нарастването на η_c се увеличава едновременно относителната теглителна сила и количеството топлина Q. Тъй като относителният разход на горивото се определя като отношение на тези величини, неговото изменение с увеличаването на η_c е по-незначително. Изчисленията показват, че при изменение на η_c с 1% $C_{отн}$ се изменя с 0,3—0,4%.

Намаляването на относителната теглителна сила и относителния разход на горивото на ТуРД може да стане за сметка на намаляването на к. п. д. на процесите сгъстяване и разширение, предизвикано от износването на лопатките на компресора и турбината, от появата по тях на грапавини и драскотини от пясък и прах.

Трябва да се има предвид, че влошаването на състоянието на проточната част при работа на ТуРД с постоянни обороти може да предизвика увеличаване на температурата на газа пред турбината, а това от своя страна да доведе до преждевременното излизане на двигателя от строя.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Доцент, кандидат по техническите науки
инженер-подполковник А. Н. ГОВОРОВ

ГОРИВЕН ПРОЦЕС В ТуРД

Устойчивостта на горивния процес в ТуРД определя сигурната работа на двигателя. Правилната организация на горивния процес оказва значително влияние върху теглителната сила и икономичността на турбо-реактивните двигатели, а също така и върху техните най-важни експлоатационни особености.

Поради това към горивните камери се предявяват редица изисквания, от които основни са:

— устойчивост на горивния процес, осигуряваща безотказна работа на двигателя на всички режими;

— висока топлонапреженост, т. е. предаване на голямо количество топлина на въздуха при възможно малки обеми на горивните камери;

— сигурно пускане на двигателя както на земята, така и в полет;

— максимална пълнота на изгаряне на горивото с минимални загуби на топлина и завършване на горивния процес в самата горивна камера така, че факелът на пламъка да не достига до турбината;

— минимални хидравлични загуби при движението на въздуха и горивните продукти в камерата;

— дълготрайност на работа.

Най-употребяваните горивни камери на ТуРД могат да се разделят на три групи: индивидуални (тръбни), пръстеновидни и смесени (тръбно-пръстеновидни).

Надлъжен разрез на **индивидуална горивна камера** е показан на фиг. 110. Камерата се състои от огнева (жарова) тръба *1*, горивна форсунка *2*, стабилизиращи устройства *3*, направени във вид на диафрагма с редица отверстия, завихрител *4* и външен кожух *5*. Едноименните части на другите камери на всички фигури са означени с еднакви цифри.

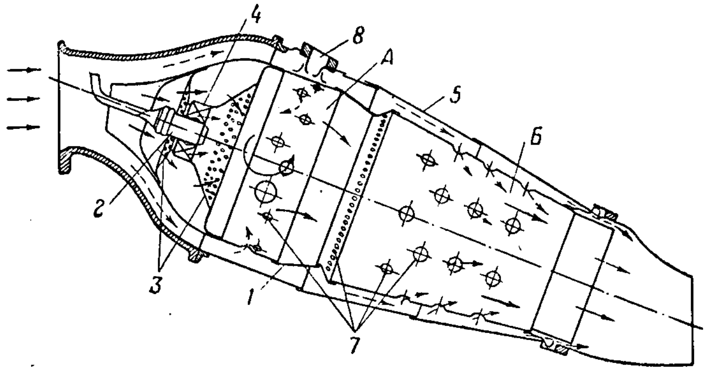
Пръстеновидната горивна камера (фиг. 111) представлява пръстеновидно пространство, затворено между външен и вътрешен цилиндричен екран *6*, които предпазват корпуса на двигателя от въздействието на високите температури. Огневата тръба *1* на камерата представлява пръстеновидна кухина, образувана между две цилиндрически повърхности с различен диаметър.

В смесената горивна камера (фиг. 112) конструкцията на самата горивна камера е пръстеновидна, а огневите тръби са индивидуални.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

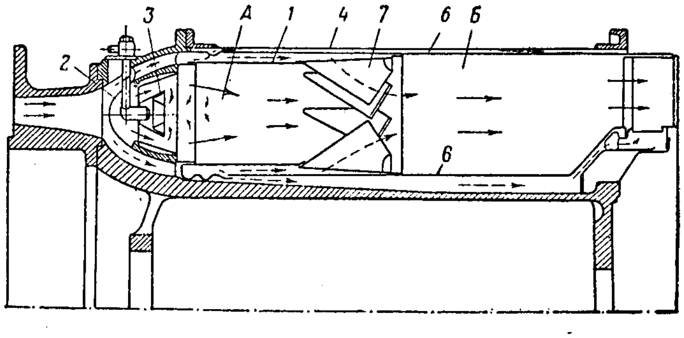
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Най-широко приложение в ТуРД са получили индивидуалните горивни камери. Те се закрепват поотделно около корпуса на двигателя, поради което удобно се преглеждат и при нужда могат да се заменят, без да се разглобява двигателят. Малките размери на индивидуалните горивни камери създават също удобства при тяхното изпитание. ТуРД имат от 6 до 16 камери.



Фиг. 110. Индивидуална горивна камера:

1 — огнева тръба; 2 — горивна форсунка; 3 — стабилизиращи устройства; 4 — завихрител; 5 — външен кожух; 7 — отверстия за подвеждане на вторичния въздух; 8 — съединителна тръба; А — зона на горене; Б — зона на смесване



Фиг. 111. Пръстеновидна горивна камера:

1 — огнева тръба; 2 — горивна форсунка; 3 — стабилизиращо устройство; 4 — външен кожух; 6 — цилиндричен екран; 7 — насадки за подвеждане на вторичния въздух; А — зона на горене; Б — зона на смесване

Пръстеновидните камери са по-неудобни за експлоатация поради големите размери и необходимостта от разглобяването на двигателя за снемане на камерите. Обаче размерите на двигателите с пръстеновидни камери са по-малки, отколкото на тези с индивидуални. Пръстеновидната камера при равни обеми има по-малко тегло от индивидуалните камери, което също е много важно за ТуРД. Освен

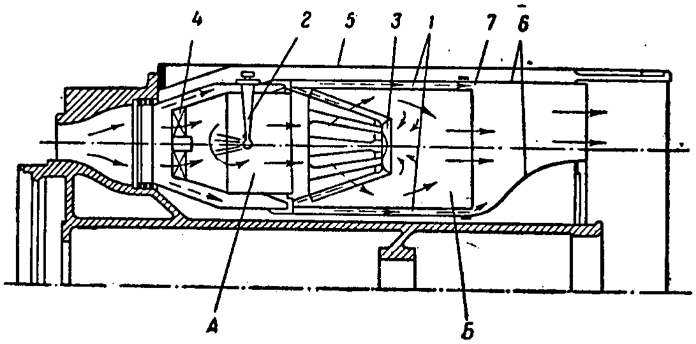
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

това пръстеновидната камера осигурява по-добра равномерност на температурата на горивните продукти по сечението на входа в сопловия апарат на турбината.

Смесените горивни камери представляват междинен тип между пръстеновидната и индивидуалната камера.

Да разгледаме особеностите на горивния процес в ТуРД. Както вече беше отбелязано, материалите, употребявани за изработване на лопатките на газовата турбина, при липса на специално охлаждане допускат температура на газовете на входа в турбината не повече от 830—875°С.



Фиг. 112. Смесена горивна камера:

1 — огнева тръба 2 — форсунка; 3 — стабилизиращо устройство; 4 — завихрител; 5 — кожух; 6 — екран; 7 — пръстеновидно пространство; А — зона на горене; Б — зона на смесване

При изгаряне на горивото с пълно използуване на кислорода от атмосферния въздух (при коефициент на излишния въздух $\alpha = 1$) температурата на продуктите на горенето е много по-висока. Необходимата температура може да се получи при изгаряне на горивото със значителен излишък на въздуха ($\alpha = 3{,}6 \div 4{,}0$). При работа на двигателя на понижени обороти коефициентът на излишния въздух още повече се увеличава.

По такъв начин в ТуРД се налага да изгаря твърде бедна гориво-въздушна смес. Известно е, че движещата се гориво-въздушна смес гори устойчиво, ако скоростта на горенето е достатъчно голяма. При малки скорости на горенето пламъкът се откъсва — отнася се от потока, и горенето се прекратява. Но с увеличаване на коефициента α, т. е. с обедняването на сместа скоростта на горенето намалява. За смеси с $\alpha = 3{,}6 \div 4{,}0$ скоростта на горенето е твърде малка. Ако целият въздушен поток в горивната камера на ТуРД се отправи в зоната на горенето, горивният процес ще протича твърде вяло и за осъществяване на пълното изгаряне на горивото ще са необходими камери с голям обем.

За да се осигури устойчиво горене и да се получи необходимата температура на продуктите на горенето, всяка горивна камера на ТуРД има две зони: зона на горенето *А* и зона на смесването *Б* (гле-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

дай фиг. 110—114). В зоната на горенето, разположена в огневата тръба близо до горивната форсунка, се подвежда само част от въздуха (обикновено 20—25°/₀ от целия разход на въздуха). Този въздух се нарича първичен. Коефициентът на излишния въздух в зоната на горенето е равен приблизително на единица, което осигурява голяма скорост на горенето. Температурата в зоната на горенето достига 1800—2000° С. Останалият въздух, който се нарича вторичен, постъпва в огневата тръба през редица отвори или специални насадки само в зоната на смесването. В резултат на смесването на продуктите от горенето, постъпващи от зоната *A*, с вторичния въздух на изхода от горивната камера се получава необходимата температура на газовете.

На всички схеми на камерите, показани на фиг. 110—112, посоката на движението на първичния въздух е показана с плътни стрелки, а на вторичния с пунктирни.

В горивната камера стават следните процеси: смесообразуване, горене на гориво-въздушната смес и смесване на продуктите от горенето с вторичния въздух. Смесообразуването от своя страна включва в себе си разпръскване (пулверизиране) на горивото, смесване на неговите частици с въздуха и изпарение на горивото.

Трябва обаче да се отбележи, че такова разделяне на процесите, които стават в горивната камера, на елементи е условно, тъй като едновременно може да стават няколко процеса.

При изгаряне на голямо количество гориво в малки обеми, както е в горивните камери на ТуРД, бързината и качеството на подготовката на гориво-въздушната смес ограничават скоростта на горенето, тъй като времето, необходимо за смесообразуването, превишава времето за самото горене.

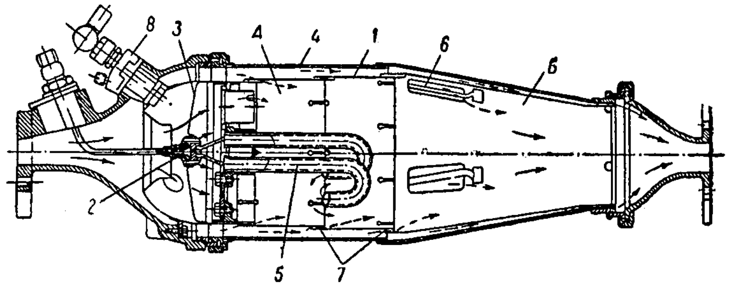
Разпръскването на горивото се извършва от форсунката *2*. Качеството на разпръскването зависи от налягането на горивото пред форсунката (по-точно от разликата в наляганията във форсунката). На номинален режим на двигателя горивото се подава под налягане 40—60 *кг/см²*. На понижени режими разходът на горивото се намалява. При постоянно изходно сечение на канала на форсунката намаляване на количеството на подаваното гориво се постига чрез намаляване налягането на горивото пред форсунката, което обаче се отразява неблагоприятно върху качеството на разпръскването. За получаване на добро разпръскване на горивото и при понижени режими често се използуват двуканалните форсунки (например форсунката на фиг. 110). В този случай горивото се подава при повишени режими през двата канала, а при понижени — през канала с по-малко сечение (тъй наречения пусков канал). Тогава и на понижени режими горивото се подава под по-голямо налягане, с което се осигурява доброто му разпръскване.

Добри резултати дава разпръскването на горивото чрез подаването му от форсунката в посока, противоположна на въздушния поток (гледай фиг. 112). Но хидравличните загуби в такава горивна камера, показана на фиг. 112, в сравнение с другите камери са големи.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

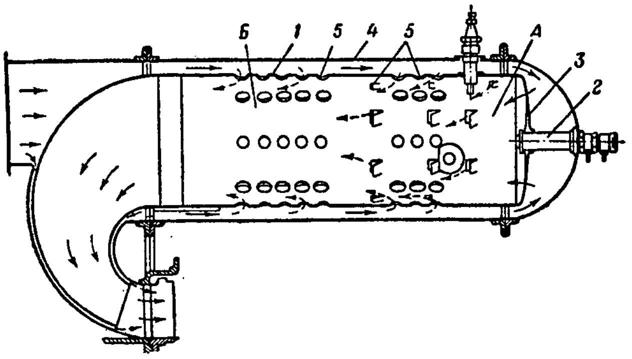
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Разпръскваното от форсунките гориво се смесва с потока на първичния въздух, който постъпва в огневата тръба *1* на горивната камера. За да се получи устойчив факел на пламъка, скоростта на първичния въздух при постъпването му в огневата тръба се намалява до 15—25 *м/сек*. За намаляване скоростта на първичния въздух по движението му са монтирани стабилизиращи устройства *3* (тъй



Фиг. 113. Горивна камера с изпарителни тръбички:

1 — огнева тръба; *2* — горивна форсунка; *3* — стабилизиращо устройство; *4* — външен кожух; *5* — изпарителни тръбички; *6* — отвори за подвеждане на вторичния въздух; *7* — пръстеновидни междини; *8* — пусков блок; *А* — зона на горене; *Б* — зона на смесване



Фиг. 114. Противоточна горивна камера:

1 — огнева тръба; *2* — горивна форсунка; *3* — стабилизиращо устройство; *4* — външен кожух; *5* — отвори за подвеждане на вторичния въздух; *А* — зона на горене; *Б* — зона на смесване

наречените стабилизатори на пламъка), които са изработени във вид на диафрагма с редица отвори (фиг. 110, 113, 114) или във вид на конически насадки, разположени около форсунката (гл. фиг. 111), или най-после във вид на цяла пластина, поставена напречно на потока в края на зоната на горенето и отражаваща факела на пламъка (гл. фиг. 112). Стабилизаторите също така способствуват за смесване на горивото с въздуха, създавайки в потока около форсунката интензивно завихряне. За доброто размесване на горивовъздушната смес способствуват също специалните завихрители *4* (гл. фиг. 110 и 112), които са монтирани по пътя на първичния

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

въздух в плоскостта на форсунката или пред нея. Завихрителите представляват редица радиални наклонени пластинки. Въздухът, преминавайки през завихрителя, се завъртва и получава окръжна съставна скорост. Интересно е, че наличието на завихрители довежда до образуването на обратни течения на вторичния въздух в огневата тръба поради намаляване налягането в централната зона (около оста) на въртящия се поток първичен въздух (гледай посоката на плътните стрелки в зоната на горенето, фиг. 110).

Обратните течения на въздуха също способствуват за размесване на гориво-въздушната смес. През време на смесването става изпаряване на частиците на горивото вследствие предаване топлината от факела на пламъка. Изпаряването на горивото се отразява благоприятно върху увеличаването на скоростта на горенето. Ето защо понякога се вземат специални мерки за по-пълното изпарение на горивото. Така в конструкцията на камерата, показана на фиг. 113, горивото се подава с форсунки в тъй наречените изпарителни тръбички *5*. При движението си по тези тръбички горивото се изпарява благодарение на загряването му от продуктите на горенето.

Трябва обаче да се отбележи, че тази камера е предназначена само за сравнително малки разходи на въздуха и не може да бъде препоръчана за ТуРД с голяма теглителна сила, тъй като нейният обем ще бъде извънредно голям.

Добро смесообразуване се постига в противопоточна камера (гл. фиг. 114), в която посоката на движението на горивните продукти е обратна на влизащия в камерата въздух. Противопоточната камера не е получила разпространение поради големите хидравлични съпротивления по пътя на движението на въздуха в нея.

Образувалата се гориво-въздушна смес изгаря в огневата тръба, т. е. окислява се от кислорода на атмосферния въздух, което се съпровожда с отделяне на топлина — с нагряване на горивните продукти.

Продуктите от горенето при движението си по огневата тръба постъпват в зоната на смесването *Б*, където се смесват с вторичния въздух. Вторичният въздух може да постъпи в огневата тръба през специални отверстия *5* в нейните стени (гледай фиг. 114), през пръстеновидните междини *7* (гледай фиг. 112 и 113) или през косите насадки *7* (гледай фиг. 111). Отворите за подвеждане на вторичния въздух се разполагат по такъв начин, че да създадат съответно разпределение на температурата на газа по сечението на изхода от горивната камера. Температурата на продуктите от горенето при тяхното смесване с вторичния въздух се понижава.

Освен това тук се извършва доизгаряне на горивото, което не е успяло да изгори в зоната на горенето. С това се осигурява изгарянето на горивото преди попадането на газа в сопловия апарат на газовата турбина.

Трябва да се отбележи, че устойчивото горене в горивната камера при работа на двигателя на място още не гарантира устойчивата работа на камерата на всички режими. Причина за това е, че нама-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

лянето на температурата и налягането на атмосферния въздух се отразява твърде неблагоприятно върху устойчивостта на горивния процес, тъй като при това се влошава смесообразуването и се намалява скоростта на горенето поради съответното намаляване на температурата и налягането на въздуха в камерата. Неустойчивостта на горенето на големи височини на полета може да доведе даже до нежелано спиране на двигателя.

По-горе беше отбелязано, че горивните камери на ТуРД се характеризират с висока топлонапреженост. Под топлонапреженост се разбира отношението на топлината, подведена в камерата за 1 час, към нейния обем и към налягането на въздуха на входа в камерата:

$$q=\frac{G_{\text{г. час}}H_u}{V_{\text{к}}\,p_2},$$

където $G_{\text{г. час}}$ — количество на горивото в килограми, вкарано в камерата за един час;

H_u — калоричната способност на горивото в *кал/кг*;

$V_{\text{к}}$ — обем на горивната камера в $м^3$;

p_2 — налягане на въздуха на входа на горивната камера.

Величината на топлонапрежеността, както се вижда от формулата й, е отнесена към налягане на входа, равно на 1 $кг/см^2$. Затова понякога величината q се нарича относителна топлонапреженост.

Относителната топлонапреженост показва съвършенството на горивната камера, тъй като колкото налягането и плътността на въздуха на входа в камерата са по-големи, толкова по-лесно ще изгори в същия този обем на камерата по-голямо количество гориво.

Топлонапрежеността на камерата на ТуРД достига $q=(35\div40)\cdot10^6=кал/м^3 \cdot атм$. Тази величина много пъти превишава топлонапрежеността на обикновените котелни устройства и може да бъде получена само при добра организация на горивния процес.

При пускането на ТуРД първоначалното възпламеняване на горивото обикновено се осъществява със специално устройство *8* (гледай фиг. 113), което се състои от пускова форсунка и електрическа свещ.

Когато горивото от пусковата форсунка се подаде в горивната камера и едновременно се създаде искра на електродите на свещите, възниква пламък, който запалва горивото, подавано от основните форсунки. В индивидуалните горивни камери запални устройства се поставят само на няколко камери, а в останалите камери пламъкът се предава чрез съединителните тръби *8* (гледай фиг. 110).

Повторно пускане на двигателя във въздуха при нужда може да бъде осъществено също както и на място. Обаче на големи скорости и височини на полета пускането във въздуха се затруднява, тъй като в този случай горивната камера се продухва от въздуха, който има голяма скорост, ниско налягане и ниска температура. Създаденият в такива условия факел на пламъка може да се окаже неустойчив поради малката скорост на горене. Ето защо за повторното пускане

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

в такива случаи трябва да се намалят височината и скоростта на полета.

Благодарение на добрата организация на горивния процес в камерите на ТуРД се постига пълно изгаряне на горивото. Загубите на топлина, свързани с непълното изгаряне на горивото, с излъчването на топлина през стените на камерите и с поглъщането на известно количество топлина поради разлагането (дисоциацията) на молекулите на продуктите от горенето под действието на високата температура, обикновено не надминават 3—4 % от топлината Q_0, подведена в горивната камера. По такъв начин въздухът получава само част от топлината (δQ_0), подведена в двигателя.

Поради указаните по-горе обстоятелства (падане на налягането и температурата на въздуха на входа в камерата, което води до намаляване на скоростта на горенето) на големи височини на полета коефициентът на отделянето на топлината малко се намалява, което се отразява неблагоприятно върху икономичността на двигателя.

Процесът на изгаряне на горивото в камерите на ТуРД протича в непрекъснат въздушен поток и почти при постоянно налягане. Ето защо той се нарича процес при $p=\text{const}$.

В действителност обаче налягането p_3 на изхода от горивната камера е с 6—10% по-ниско от налягането p_2 на входа ѝ. Това се обяснява с две обстоятелства.

Първо, вследствие увеличаването на относителния обем на въздуха при неговото нагряване в камерата скоростта на въздуха се увеличава от 40—60 *м/сек* на входа в камерата до 160—200 *м/сек* на входа в сопловия апарат на газовата турбина. В съответствие с уравнението на Бернули увеличаването на скоростта довежда до намаляване на налягането.

Второ, налягането през време на горенето се намалява поради наличието на хидравлични съпротивления в камерата.

Намаляването на налягането вследствие нарастването на скоростта не може да се счита за загуба на налягането в пълния смисъл на думата, тъй като то е свързано с преобразуването на потенциалната енергия на въздуха в кинетична. А кинетичната енергия се използува в газовата турбина и в реактивното сопло на двигателя. Наистина, ако ние бихме искали да намалим скоростта на газовия поток на изхода от горивната камера до скоростта на въздушния поток на входа в нея чрез заприщване на потока, налягането не би достигнало предишната си величина даже при липса на хидравлични загуби, тъй като при високата температура за сгъстяването на газа е необходима работа по-голяма, отколкото работата при разширението, извършвана от въздуха в горивната камера при по-малка температура. Но тази разлика не е голяма и може да се пренебрегне.

Намаляването на налягането в камерата вследствие хидравличните загуби непосредствено се отразява върху теглителната сила и икономичността на ТуРД. Обикновено това намаляване на налягането представлява 3,5—5 % от налягането на входа в горивната камера. Колкото тези загуби са по-малки, толкова горивната камера е по-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

добра. Падането на налягането в камерата се отразява особено неблагоприятно върху работата на ТуРД, които имат ниска степен на сгъстяване на въздуха.

Дълготрайността на горивната камера, която е подложена на действието на високи температури, се осигурява със съответно охлаждане на отговорните елементи от конструкцията. Огневата тръба се охлажда от вторичния въздух. За повишаване ефективността на охлаждането понякога част от въздуха се отвежда и пропуска през междини, образувани от специални екрани *6* и кожуха на камерата *4* (гледай фиг. 111).

В заключение ще отбележим, че спазването на всички изисквания, които се предявяват към горивните камери на ТуРД, се усложнява от това, че повечето от процесите, които стават в камерата, не се подават на точно изчисление и често при проектиране на горивните камери се налага да се използуват опитни данни. Освен това някои изисквания, които се предявяват към камерите, си противоречат. Затова за успешното разрешаване на задачите по създаването на съвършени горивни камери голямо значение имат както теоретическите работи по въпросите за горенето, така и натрупването на опитни данни за процесите, които протичат в горивните камери.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Доцент, кандидат по техническите науки
инженер-майор Ю. Н. НЕЧАЕВ

ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ТУРБО-РЕАКТИВНИТЕ ДВИГАТЕЛИ

Характеристики на турбо-реактивния двигател се наричат зависимостите на теглителната сила и относителния разход на горивото от оборотите, скоростта и височината на полета.

Характеристиките на ТуРД се ползуват при аеродинамическия разчет на самолетите за определяне на техните летателно-тактически данни. С помощта на характеристиките се определят най-изгодните режими на полета на самолета (максимална далечина на полета, най-голяма продължителност на полета и др.), сравняват се данните на различните двигатели или на един и същ двигател при различни способи на регулирането му и т. н.

Характеристиките на ТуРД се получават по опитен път или с помощта на теоретически разчети.

Определянето на характеристиките по опитен път е сравнително просто само при изпитание на двигателя на стенд (в статически условия), където могат да бъдат снети характеристиките по оборотите. Такива характеристики се наричат **стендови.**

Характеристики, които се получават в полета, се наричат **летателни.**

Определянето на летателните характеристики по опитен път е свързано със значителни трудности, тъй като изисква използуването на сложно оборудвани самолети — летящи лаборатории, или специални, скъпо струващи височинни устройства.

Построяването на характеристиките по теоретически път може всякога да бъде осъществено с по-малки сили и средства. Освен това по такъв начин могат да се определят и характеристиките не само на построения, но и на проектирания двигател. Ето защо теоретическите методи за разчета на характеристиките на ТуРД имат важно значение. От съветските учени са разработени редица такива методи, които дават добри резултати.

Съществуващите теоретически методи за разчета на летателните характеристики на ТуРД могат да се разделят на: аналитични, по данни от стендовите изпитания и по характеристиките на компресора и турбината.

В аналитичните методи на разчета на характеристиките за изходни данни се приемат параметрите на двигателя на известен

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

режим, за какъвто обикновено се избира номиналният или максималният режим на работа на двигателя на стенд. Теглителната сила и относителният разход на горивото в полет се определят като функции от известни параметри на изходния режим.

При аналитични разчети на характеристиките може да се отчитат само основните физически закономерности, свойствени на ТуРД при работата му на неразчетни режими. Ето защо те носят приблизителен характер. По такъв начин обикновено се налага да се изчисляват летателните характеристики на новопостроени двигатели, когато са известни всичките данни само на един разчетен режим.

В методите за построяване летателните характеристики на ТуРД по данни от стендовите изпитания за изходни данни се приемат стендовите характеристики на двигателя и други опитни данни. Такива методи позволяват летателните характеристики да се определят с голяма точност, но те са много сложни и пригодни само за съществуващи двигатели, тъй като изискват знанието на голямо количество експериментални данни.

Методите за построяване характеристиките на ТуРД по характеристиките на компресора и турбината са най-точни. Те се основават на използуването на характеристиките на лопатъчните машини, които се получават при изпитанието им в натура или по изпитанията на техните модели. Обаче експерименталното определяне характеристиките на компресорите и турбините е твърде трудна задача, тъй като изисква употребата на сложни изпитателни устройства с голяма мощност. Успешното развитие на теоретическите способи за построяване характеристиките на компресорите и турбините позволява да се разширят значително възможностите за използуването на тези методи.

Преди да преминем към разглеждане характеристиките на ТуРД, да се запознаем накратко с експерименталните способи за тяхното определяне.

Експериментални способи за определяне на стендовите и летателните характеристики на турбо-реактивните двигатели

Турбо-реактивните двигатели през време на тяхното регулиране и преди постъпването им в експлоатация се подлагат на стендови и летателни изпитания. Задачите на тези изпитания са твърде разнообразни. Основната им цел се състои в определяне характеристиките, които са най-сигурното средство за проверка съответствието на данните на изпитвания двигател с техническите условия. С това обаче не се изчерпва ролята на стендовите и летателните изпитания. Те служат също за проверка сигурността на работа на двигателя, за определяне срока на неговата служба, за откриване на слабите страни на конструкцията, за нагласяване системата за управление и регулиране и за разрешаването на редица други въпроси.

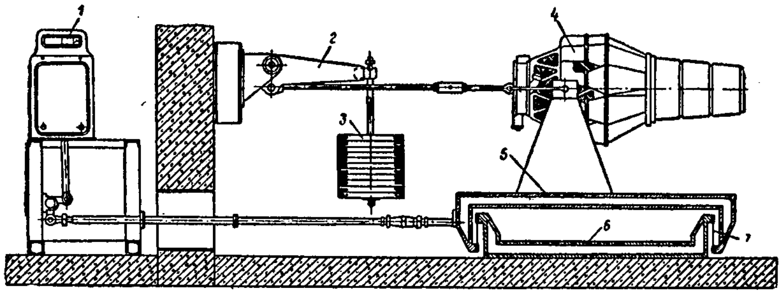
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Снемането на стендовите характеристики на ТуРД се осъществява на специални изпитателни станции, които по своето устройство и оборудване са твърде разнообразни.

Изпитателната станция обикновено се състои от изпитателно (огнево) отделение, представляващо отделно помещение, в което върху стенд се монтира изпитваният двигател, и табло (пулт), което служи за управление на двигателя и за контрол на неговата работа.

Двигателят трябва да бъде монтиран върху стенда по такъв начин, че създаваната от него теглителна сила лесно да се предава на приспособлението за нейното измерване. Ето защо е необходимо да се осигури възможността за свободно преместване на двигателя в посока на неговата ос, а също да се изключи действието на силите на триенето и влиянието на системите, които служат за подхранване и управление на двигателя, върху измерването на теглителната сила.



Фиг. 115. Схема на стенд за изпитание на двигател с окачване на гъвкави ленти:
1 — везни; 2 — приспособление за тариране; 3 — тарировъчни тежести; 4 — изпитваният двигател; 5 — подвижна платформа; 6 — неподвижна рама; 7 — гъвкави ленти

Съществуват различни способи за монтиране на двигателя върху стенд, които удовлетворяват горните изисквания. Двигателят може да бъде окачен на гъвкави ленти 7 (фиг. 115) или закрепен на подвижна платформа — обикновено на шарнирен паралелограм (фиг. 116).

Съвременните ТуРД разходват голямо количество въздух. Ако двигателят се постави в затворено помещение, подвеждането на въздуха и отвеждането на газовете трябва да се извършва през специални шахти или отвори в стените. Правилното измерване на теглителната сила при такива условия може да бъде осигурено само тогава, когато скоростта на въздуха около двигателя практически е равна на нула. Важно е също така в помещението, където се намира двигателят, да не възниква чувствително разреждане. Затова както самото изпитателно помещение, така и проходните сечения в шахтите трябва да бъдат достатъчно големи.

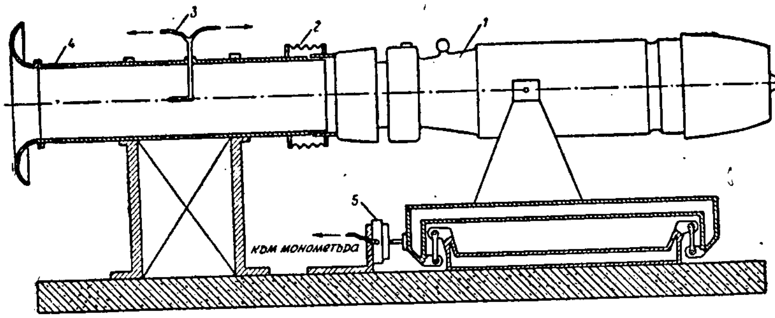
При стендовите изпитания на ТуРД освен теглителната сила, оборотите и разхода на горивото, които са необходими за построя-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ване на характеристиките по оборотите, могат да се измерват и други параметри, които в една или друга степен характеризират работата на двигателя. Към тези параметри се отнасят температурата на напълно заприщения газов поток зад турбината, по която се контролира температурният режим на двигателя, разходът на въздуха, а така също налягането, температурата и скоростта на газо-въздушния поток в различните сечения по дължината на двигателя. Последните параметри служат за определяне степента на сгъстяване, коефициентите на полезно действие на отделните елементи на двигателя и на други величини.

Теглителната сила на двигателя се измерва с везни и порядко със специални хидравлични динамометри, към които усилието от двигателя се предава непосредствено или чрез система от лостове.



Фиг. 116. Схема на стенд с поставяне на двигателя на подвижна платформа:

1 — изпитваният двигател; *2* — еластично уплътнение; *3* — проводник към манометъра; *4* — мерно сопло; *5* — хидравличен динамометър

Оборотите на двигателя се измерват обикновено със сумарни или с електрически оборотомери, които осигуряват точност при измерването до 0,2%.

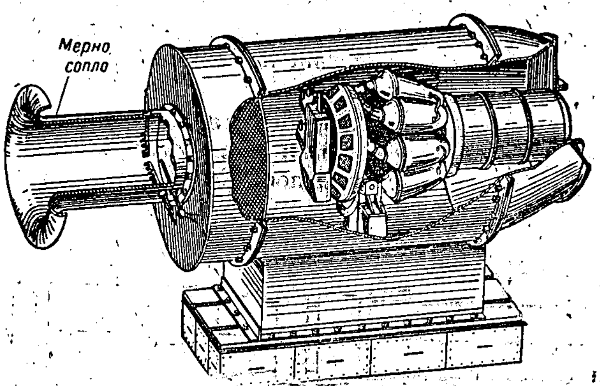
Точното измерване на оборотите е от твърде голямо значение, тъй като теглителната сила и разходът на горивото са крайно чувствителни към изменението на оборотите.

Разходът на горивото се определя чрез измерване теглото или обема на горивото, разходвано от двигателя за определено време. В първия случай се използуват везни, на които се закрепва разходен резервоар с гориво. При това тегловният разход на горивото се определя чрез непосредствено претегляне на количеството гориво, което е разходвано за определен промеждутък от време. Във втория случай с помощта на измерителна колба се определя обемът на изразходваното гориво за определен интервал от време, по който след това, като се знае относителното тегло на горивото, се определя тегловният разход.

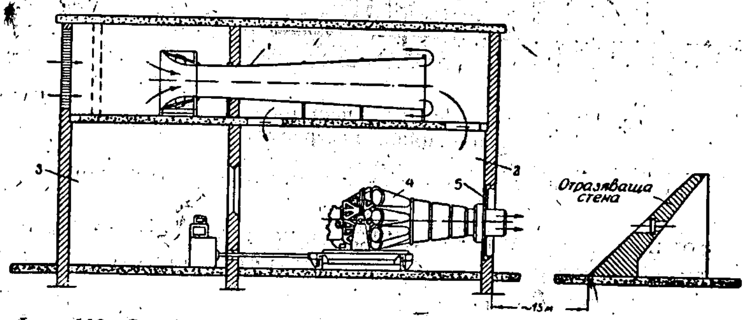
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Измерването на разхода на въздуха представлява значителна трудност. При изпитанието на двигатели с осеви компресори определянето му става, като се поставя пред входа на двигателя специално мерно сопло. Мерното сопло, което има достатъчно голяма дължина, се закрепва отделно от двигателя и се съединява с него само с еластично уплътнение, предпазващо от засмукване на въздух



Фиг. 117. Схема на изпитание на ТуРД с центробежен компресор в херметически кожух



Фиг. 118. Схема на херметическата камера за изпитание на ТуРД: *1* — мерно сопло; *2* — изпитателно отделение; *3* — табло за управление; *4* — двигател; *5* — еластично уплътнение

в междината между соплото и входния канал на двигателя (гледай фиг. 116). При изпитанието на ТуРД с центробежни компресори, които имат двустранен вход на въздуха, такъв способ е непригоден. В този случай един от възможните методи за измерване разхода на въздуха се заключава в пълната херметизация на двигателя или на цялото изпитателно помещение и в подаването на въздух в тях през мерно сопло (фиг. 117 и 118).

В едно или две взаимно перпендикулярни сечения на мерното сопло се поставят гребени с известно число приемници, разположени по диаметъра за измерване на скоростта.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Тези гребени позволяват да се определи полето на скоростите и след това по него да се намери разходът на въздуха. По-прост, но по-неточен способ за определяне на разхода е измерването на разликата между статическото налягане на стената на соплото и налягането на атмосферния въздух.

Измерването на температурата на газа пред турбината се осъществява трудно както поради значителната неравномерност на температурното поле, така и поради големите грешки в показанията на уреда (главно поради силното лъчеизпускане на факела на пламъка), поради което температурният режим на двигателя се контролира чрез измерване температурата на заприщения газов поток зад турбината или на изхода от реактивното сопло. Зависимостта на тази температура от оборотите има приблизително същия характер, както и зависимостта на температурата на газа пред турбината.

Снемането на летателните характеристики на ТуРД се извършва на специални самолети — летящи лаборатории, или на обикновени самолети, където изпитваният двигател служи едновременно за силова установка.

За летящи лаборатории се използуват самолети с двигатели от всякакъв тип, на които изпитваният двигател се окачва отделно. Той може да бъде закрепен под тялото, под крилото, на специална подставка над тялото или на някое друго място. Управлението на двигателя е дистанционно — от кабината на летеца или експериментатора. Теглителната сила на двигателя в този случай може да бъде определена както чрез непосредствено измерване, така и с помощта на изчисление по параметрите, измерени по дължината на двигателя.

За непосредственото измерване на теглителната сила двигателят се закрепва на подвижна рама, която позволява преместването му в надлъжно направление. Усилието, което възниква при работа на двигателя, по-точно неговата проекция върху направлението на оста на двигателя, се възприема от пружинен динамометър или от някакво друго измерително приспособление.

Усилието, което действува на динамометъра, се състои от теглителната сила на двигателя, съпротивлението на гондолата на двигателя и съставната от теглото на самия двигател, ако той е разположен под известен ъгъл спрямо хоризонта. За да се намери теглителната сила, която се създава само от двигателя, трябва да се определят силата от съпротивлението на гондолата на двигателя и съставната от теглото на двигателя и да се прибавят към силата R, измерена от динамометър. Тогава

$$P = R + Q + G_{дв} \sin \alpha,$$

където R — показание на динамометъра;
Q — съпротивление на гондолата;
$G_{дв}$ — тегло на двигателя;
α — ъгъл между оста на двигателя и хоризонта.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Външното съпротивление на гондолата на двигателя зависи не само от режима на полета, но и от режима на работа на двигателя (главно от разхода на въздуха през двигателя). Понякога условно се приема, че при еднакви режими на полета външното съпротивление на двигателя при неговата работа има такава величина, както и външното съпротивление на неработещ двигател със закрит входен и изходен канал. В този случай съпротивлението на гондолата на двигателя се определя в специален полет с неработещ двигател, на който отворите на входния и изходния канал се затварят с обтекатели.

Освен това теглителната сила може да бъде определена приблизително по косвен начин — чрез измерване параметрите на газа. За тази цел на всеки режим на полета е достатъчно да се определят пълният напор и температурата на заприщения поток в реактивното сопло. Когато са известни тези величини, може да се изчислят разходът и скоростта на изтичането на газа, а по тези величини — теглителната сила, като се използува формулата

$$P=\frac{G}{g}(c_5-c_0).$$

Летателните характеристики могат да се определят също чрез изпитание на двигателя на специална височинна установка. Височинната установка от най-прост тип представлява херметична камера, в която се поставя изпитваният двигател. Въздухът в камерата се подава от специално нагнетателно устройство, което осигурява на входа в двигателя температура и налягане, съответствуващи на исканите условия на полета. Излизащите от двигателя газове се засмукват от вентилатор, който създава налягане на изхода, съответствуващо на дадената височина на полета. За определяне данните на ТуРД на някакъв друг режим на полета нагнетателното и всмукателното устройство се нагласяват на новия режим, като се осигуряват всеки път съответните атмосферни условия на входа и на изхода от двигателя. Теглителната сила на двигателя, разходът на въздух и гориво и другите параметри се измерват по същия начин, както и при обикновените стендови изпитания. Това гарантира по-висока точност на измерването в сравнение с изпитанието на двигателя на самолета.

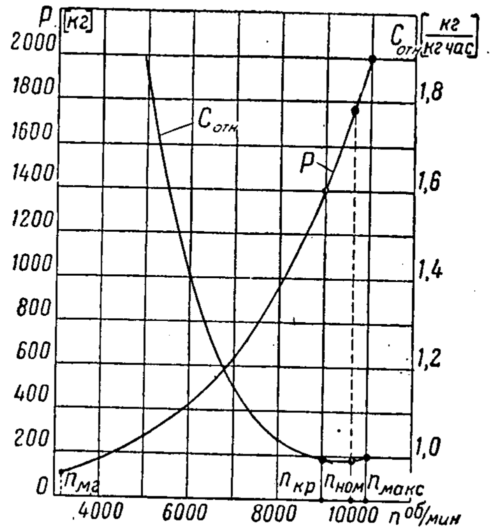
Характеристики на ТуРД по оборотите

Характеристики на ТуРД по оборотите се нарича зависимостите на теглителната сила и относителния разход на горивото от оборотите на двигателя при определено значение на скоростта и височината на полета. Характеристиките, получени при изпитанието на двигателя на стенд, са показани на фиг. 119 и 120.

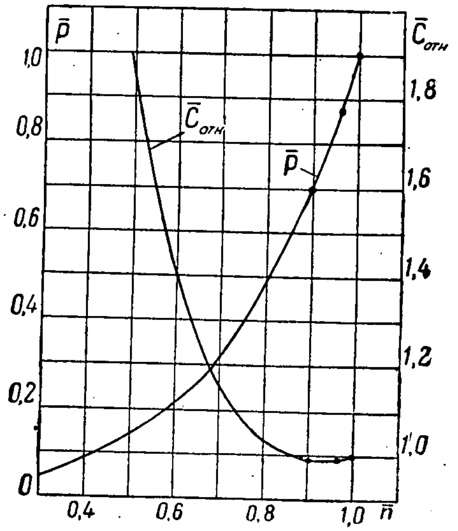
На фиг. 119 характеристиките са построени във вид на зависимости на абсолютните значения на теглителната сила и относителния разход на горивото от оборотите. На фиг. 120 същите тези харак-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6



Фиг. 119. **Характеристики на ТуРД по оборотите**



Фиг. 120. **Относителни характеристики на ТуРД по оборотите**

теристики са дадени в относителни координати, т. е. оборотите, теглителната сила и относителният разход на горивото тук са отнесени към съответните им значения при максимален режим на работа на двигателя. За относителните значения на оборотите, теглителната

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

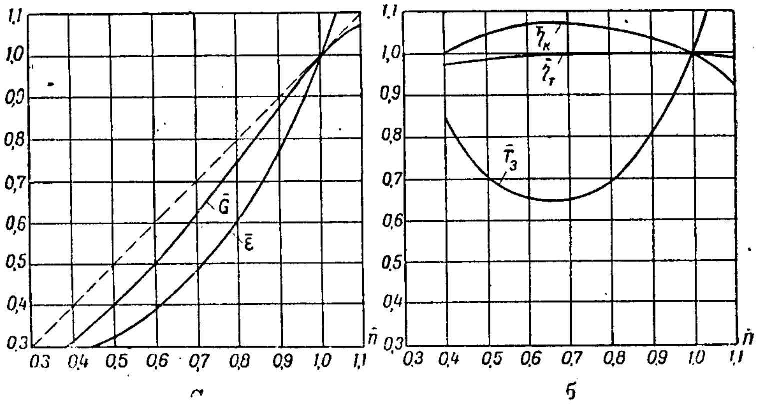
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

сила и относителния разход на горивото са приети следните означения:*

$$\bar{n}=\frac{n}{n_{\text{макс}}};\quad \bar{P}=\frac{P}{(P)_{n_{\text{макс}}}};\quad \bar{C}_{\text{отн}}=\frac{C_{\text{отн}}}{(C_{\text{отн}})_{n_{\text{макс}}}}.$$

Както се вижда от фиг. 119 и 120, при увеличаване на оборотите теглителната сила на двигателя се увеличава, а относителният разход на горивото се намалява. За кривата на относителния разход на горивото е характерно наличието на слабо изразен минимум в областта на големите обороти.

За да се изяснят причините, които обуславят характера на изменението на теглителната сила и относителния разход на горивото от оборотите, ще разгледаме предварително как при това се изменят разходът на въздуха, степента на сгъстяване, температурата на газа пред турбината и к. п. д. на компресора и турбината, т.е. параметрите, които определят работния процес на двигателя. Характерът на изменението на тези параметри по оборотите в относителните координати е показан на фиг. 121, *а* и *б*.



Фиг. 121. **Изменение на параметрите на работния процес на ТуРД в зависимост от оборотите**

Както се вижда от фиг. 121 *а*, разходът на въздуха *G* се увеличава приблизително пропорционално на оборотите, макар че кривата за разхода има слабо изразен *S*-образен характер и в своята най-горна част започва да се отклонява надолу от правата, която преминава през началото на координатите и на фиг. 121 *а* е дадена с пунктир. Забавяне нарастването на разхода на въздуха при големи обороти се обяснява с това, че в различните места по дължината на двигателя се получават звукови или близки до тях ско-

* **Всички други относителни величини ще означаваме със съответните им букви с черти над тях.**

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

рости, което ограничава възможността за по-нататъшното увеличаване скоростта на движение на газа.

Степента на сгъстяване на ТуРД при увеличаване на оборотите нараства много бързо, което се обяснява с увеличаване на работата, разходвана за сгъстяването на всеки килограм въздух, който преминава през компресора. Тази работа се увеличава, както е известно, приблизително пропорционално на квадрата на оборотите.

Коефициентът на полезното действие на компресора $\eta_к$ в областта на експлоатационните режими с увеличаване на оборотите се намалява (фиг. 121 *б*). Това се обяснява с увеличаването на скоростта на движение на въздуха в отделните елементи на компресора и с нарастването на загубите от триенето, а също и с появата на вълнови загуби.

Коефициентът на полезното действие на турбината $\eta_т$ почти не се изменя с изменението на оборотите, което е свързано с малките отклонения на режима на работата ѝ от разчетния. Само в областта на пусковите режими, които тук не се разглеждат, к. п. д. на турбината може чувствително да се понижи.

Особен интерес представлява зависимостта на температурата на газа пред турбината T_3 от оборотите. Както се вижда от фиг. 121 *б*, температурата на газа пред турбината достига най-голямо значение при максимални обороти. При намаляване на оборотите тя отначало пада, а след това започва слабо да се повишава.

Този характер на изменение температурата T_3 се обяснява с условията на съвместната работа на компресора и турбината на ТуРД. Мощността, необходима за въртенето на компресора, при изменение на оборотите се изменя, както беше отбелязано по-рано, пропорционално на оборотите на куб. Разполагаемата пък мощност на турбината зависи не само от оборотите, но и от температурата на газа пред турбината. При дадена величина на температурата T_3 мощността на турбината също нараства при увеличаване на оборотите, но кривата на нейното изменение е по-полегата в сравнение с кривата на изменението на мощността, необходима за въртенето на компресора.

На фиг. 122 е показан приблизителният характер на зависимостите на разполагаемите мощности на турбината $N_т$ (при различни значения на температурата T_3) и на мощността, необходима за въртенето на компресора $N_к$, от числото на оборотите.

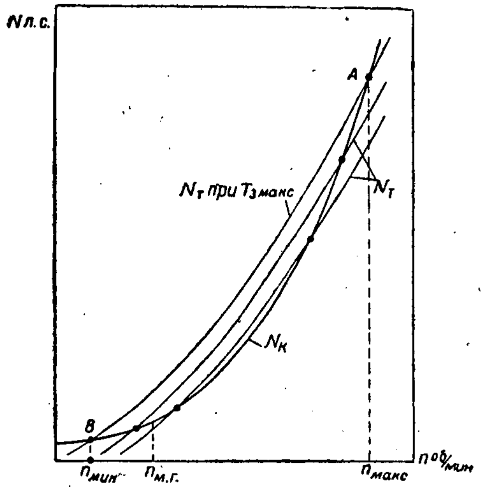
При съвместна работа на компресора и турбината установени режими могат да се получат само при равенство на техните мощности. Тези режими, както е показано на фиг. 122, се определят от точките на пресичане на кривите на разполагаемите мощности на турбината $N_т$, съответствуващи на различни температури T_3, с кривата на необходимата мощност на компресора $N_к$. Оттук се вижда, че на всяко равновесно значение на оборотите съответствува напълно определена температура на газа пред турбината, която с намаляване на оборотите отначало пада, а след това започва да се увеличава.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Най-горната от кривите на разполагаемата мощност на турбината съответствува на постоянна максимално допустима температура на газа пред турбината $T_{3макс}$. Тя пресича кривата на необходимата мощност на компресора в точките A и B. Точките A и B определят максималните и минималните обороти, които може да бъдат получени без превишаване на максимално допустимата температура на газа пред турбината за дадения двигател.

При обороти, по-големи от $n_{макс}$ и по-малки от $n_{мин}$, мощността, необходима за въртене на компресора, става вече по-голяма от мощността, която може да даде турбината при максимално допустима температура на газа. Ето защо увеличаването или намаляването на оборотите свръх допустимите граници може да бъде постигнато само за сметка на увеличаване на температурата на газа пред турбината над $T_{3макс}$, което може да предизвика прегряване на турбината.



Фиг. 122. График на зависимостта на мощностите на турбината $N_т$ и на компресора $N_к$ от оборотите

Следователно високото температурно напрежение на турбината и опасността от нейното прегряване имат място както при максималните, така и при минималните обороти. По тази причина оборотите на малкия газ $n_{м.г.}$ трябва да бъдат по-големи от минималните обороти, а времето на работата на двигателя при максимални обороти се ограничава.

Като се знае изменението на основните параметри на работния процес на ТуРД от оборотите, лесно може да се обясни характерът на зависимостта на теглителната сила и относителния разход на горивото (гледай фиг. 119 и 120).

С увеличаване на оборотите интензивно нараства степента на сгъстяване, а в областта на големите обороти и температурата на газа пред турбината. Това довежда до повишаване на относителната теглителна сила. Едновременно се увеличава и разходът на въздуха през двигателя. Двата посочени фактора способствуват за увеличаване теглителната сила на двигателя, която е равна на произведението от разхода на въздуха по относителната теглителна сила.

Интензивността на нарастването на теглителната сила с увеличаване на оборотите значително нараства. Изменението на оборотите с $1^0/_0$ предизвиква изменение на теглителната сила близо до $n_{макс}$ приблизително с $3—4^0/_0$. Трябва да се отбележи, че при големи

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

скорости на полета теглителната сила с изменение на оборотите се изменя още по-интензивно, отколкото в статически условия.

Зависимостта на относителния разход на горивото от оборотите се определя главно от характера на изменението на степента на сгъстяване и температурата на газа пред турбината. Увеличаването степента на сгъстяване, както беше посочено, довежда до намаляване на относителния разход на горивото, при което в началото $C_{отн}$ намалява твърде интензивно, а след това интензивността на неговото падане се забавя. Повишаването на температурата на газа пред турбината, обратно, довежда до увеличаване на относителния разход на горивото, тъй като обикновено в целия диапазон на оборотите температурата T_3 се оказва по-голяма от $T_{3\,ек}$.

С нарастване на оборотите, както се вижда от фиг. 121 *а*, степента на сгъстяване ε през цялото време се увеличава, а температурата на газа пред турбината T_3 отначало незначително се намалява, а след това започва да се повишава. В резултат на това относителният разход на горивото с нарастване на оборотите отначало намалява твърде интензивно. С по-нататъшното увеличаване на оборотите падането на относителния разход на горивото постепенно се забавя както поради повишаването на температурата T_3, така и вследствие на достигането на високи степени на сгъстяване от двигателя. Забавяне намаляването на относителния разход на горивото също така способствува за снижаване к. п. д. на компресора. Влиянието на последните два фактора понякога се оказва толкова значително, че се започва даже известно увеличаване на $C_{отн}$ близо до максималните обороти. С това се обяснява появата на минимума на кривата, която показва зависимостта на $C_{отн}$ от оборотите.

Да разгледаме основните режими на работа, установени за ТуРД и отбелязани на характеристиките или указани във формуляра на двигателя.

Максималният режим (режим за излитане) съответствува на максимално допустимите обороти и на най-голямата теглителна сила на двигателя. Елементите на двигателя при работата на този режим са подложени на най-големи напрежения, поради което времето на непрекъснатата работа на двигателя на този режим е ограничено и обикновено не надминава 5—10 минути. Максималният режим се използува при излитане, набиране на височина, а също така за кратковременно увеличаване скоростта на полета на самолета.

Номиналният режим гарантира непрекъсната работа на двигателя за по-дълго време (до 30 минути). Оборотите на номиналния режим са с 3—4% по-малки от максималните, а теглителната сила е около 90% от максималната. Този режим се използува при полет с голяма скорост, при продължително набиране на височина и т. н.

На експлоатационен (крайсерски) режим двигателят може да работи сигурно непрекъснато през целия установен срок на службата му (ресурса). При този режим оборотите съставляват приблизително 90%, а теглителната сила — 70—75% от значенията им на

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

максимален режим. Двигателят работи най-много на експлоатационен режим при полети на голяма далечина и голяма продължителност.

За изброените режими се указват гарантираните от завода за даден двигател значения на теглителната сила, допустимата температура на газа (обикновено зад турбината) и разходът на гориво.

Режимът на малък газ съответствува на най-малките обороти, при които двигателят може да работи сигурно и устойчиво. Времето на непрекъсната работа на двигателя на режима на малък газ понякога се ограничава от високите температури на газа пред турбината и от влошаване условията на работа на термично натоварените части на двигателя. Теглителната сила на режима на малък газ трябва да бъде назначителна (не повече от 3—5% от максималната), за да не се увеличава дължината на изтъркалването (пробега) на самолета при кацане.

С въвеждането на указаните режими се постига определена стандартизация при проверка сигурността на работа на двигателя и определянето на ресурса му.

Скоростни и височинни характеристики на ТуРД

Да преминем към разглеждане на скоростните и височинни характеристики на ТуРД.

Скоростни характеристики на ТуРД се наричат зависимостите на теглителната сила и относителния разход на горивото от скоростта на полета на дадена височина при постоянни обороти на двигателя.

Скоростни характеристики на турбо-реактивен двигател, съответствуващи на няколко височини на полета, са дадени на фиг. 123. Тези характеристики са определени чрез изчисления за двигател, който има при земни статически условия степен на сгъстяване на въздуха $\varepsilon_0=5$ и температура на газа пред турбината $T_3=1150^0$ абс. От фиг. 123 се вижда, че при изменение скоростта на полета от 0 до 1800 *км/час* (500 *м/сек*) теглителната сила на ТуРД на всички височини в началото намалява, а след това, достигайки свой минимум, започва да нараства.

Теглителната сила достига минималните си значения при скорости 600—700 *км/час*. Величината на теглителната сила в тези точки е по-малка с 10—15% от теглителната сила при статически условия.

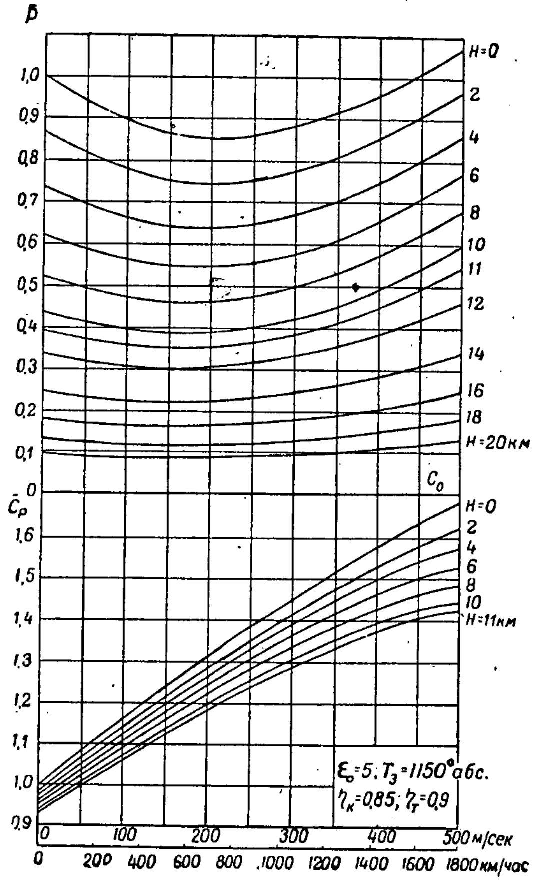
С увеличаване височината на полета теглителната сила на ТуРД твърде интензивно пада и на височина 8—10 *км* се оказва приблизително 2 пъти по-малка, отколкото на земята. На височина 20 *км* теглителната сила се намалява почти 10 пъти.

Относителният разход на горивото, както се вижда от фиг. 123, с нарастването на скоростта на полета се увеличава, а с увеличаването на височината на полета до 11 *км* намалява.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Както вече се отбеляза в теорията на лопатъчните машини, ефективната работа, която се разходва за въртене на компресора (на 1 *кг* въздух) при постоянни обороти, се запазва приблизително постоянна. Ефективната работа на турбината също така се запазва приблизително постоянна, тъй като в ТуРД работата на компресора и работата на турбината на установени режими са равни. Температурата на газа пред турбината в съвременните ТуРД, които имат в



Фиг. 123. **Скоростни характеристики на ТуРД, съответствуващи на различни височини на полета**

полет свръхкритически разлики в наляганията в реактивното сопло, при работа с постоянни обороти също така може приблизително да се счита, че не се изменя. Тези две положения се потвърждават от редица теоретически и експериментални данни, особено за ТуРД с центробежни компресори, и може да бъдат приети при качественото разглеждане на процесите в двигателя. От тях също следва,

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

че и степента на разширяването на газа в турбината трябва да остава постоянна при постоянни обороти. За да се докаже това, да напишем формулата за ефективната работа на турбината.

$$L_{е.\,т}=\frac{k_г}{k_г-1}R_гT_з\left(1-\frac{1}{\varepsilon^{\frac{k_г-1}{k_г}}}\right)\eta_{е.\,т.}$$

Както се вижда от тази формула, при направените допускания и при постоянен ефективен к. п. д. на турбината степента на разширението на газа в турбината $\varepsilon_г$ също така остава постоянна.

Друга особеност в работата на ТуРД се състои в постоянството на приведения разход на газа през турбината, равен на $\frac{G\sqrt{T_з}}{p_з}$. Това условие се запазва не само в широк диапазон на изменение на режимите на полета, но и при работа на двигателя с различни обороти. От условието следва също, че при запазване на температурата $T_з$ разходът на въздуха в ТуРД се изменя право пропорционално на налягането на газа пред турбината.

По такъв начин **при работа на ТуРД с постоянни обороти температурата на газа пред турбината и степента на разширението в турбината се запазват приблизително постоянни, а разходът на въздуха (газа) се изменя пропорционално на налягането пред турбината.**

Като се ползуваме от указаните положения, да обясним зависимостта на теглителната сила и относителния разход на горивото на ТуРД от скоростта на полета.

Както е известно, теглителната сила е равна на произведението от разхода на въздуха, който преминава през двигателя, и относителната теглителна сила, т. е.

$$P=GP_{отн}.$$

Преди да обясним характера на зависимостта на теглителната сила от скоростта на полета, да разгледаме изменението на относителната теглителна сила и разхода на въздуха.

С увеличаване скоростта на полета се повишава налягането на въздуха на входа в компресора (от скоростния напор) и въпреки че степента на сгъстяване на самия компресор малко намалява, общата степен на сгъстяване на въздуха в двигателя нараства.

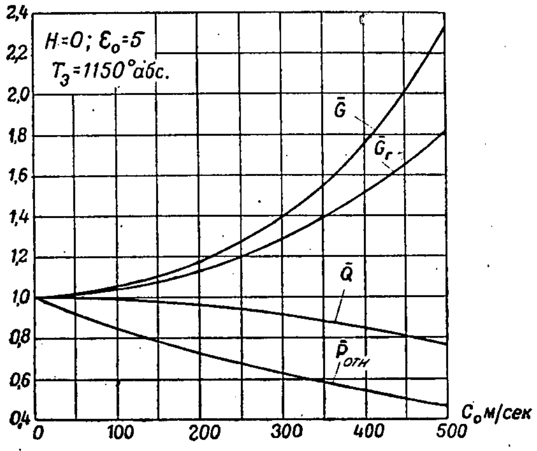
Увеличаването на общата степен на сгъстяване предизвиква повишаване на налягането пред турбината, а съответно и зад турбината, тъй като степента на разширение в турбината се запазва постоянна. Това от своя страна води до известно нарастване на скоростта на изтичането на газа от реактивното сопло (или на ефективната скорост на изтичането, ако разликата в налягания в реактивното сопло стане свръхкритическа). Трябва да се отбележи обаче, че скоростта на изтичането на газа от реактивното сопло c_5, както показват разчетите, се увеличава значително по-бавно от нараства-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

нето на самата скорост на полета; затова относителната теглителна сила $P_{отн} = \frac{c_5 - c_0}{g}$ с увеличаването на скоростта на полета през цялото време намалява.

Разходът на въздуха с увеличаването на скоростта на полета, напротив, расте, което се обяснява с увеличаването на плътността на въздуха (газа) по цялата дължина на двигателя и преди всичко пред сопловия апарат на турбината. При запазване на постоянна температура на газа пред турбината разходът на въздуха, както се отбеляза, се увеличава пропорционално на налягането пред турбината.



Фиг. 124. **График на зависимостта на $\overline{G}$, $\overline{G}_т$, $\overline{Q}$ и $\overline{P}_{отн}$ от скоростта на полета**

Относителното изменение на разхода на въздуха и на относителната теглителна сила в зависимост от скоростта на полета е показано на фиг. 124. Както се вижда от фигурата, разходът на въздуха в началото расте твърде бавно, след това интензивността на растежа му значително се повишава. Това се обяснява с факта, че увеличаването на плътността на въздуха в двигателя, в резултат на което расте разходът, е предизвикано от въздействието на скоростния напор, който е пропорционален на квадрата на скоростта на полета $\left(\frac{\rho V^2}{2}\right)$. При малки скорости на полета неговото влияние е незначително, а при големи скорости — силно нараства.

Относителната теглителна сила с увеличаването на скоростта на полета пада, при което интензивността на падането ѝ почти не зависи от скоростта на полета.

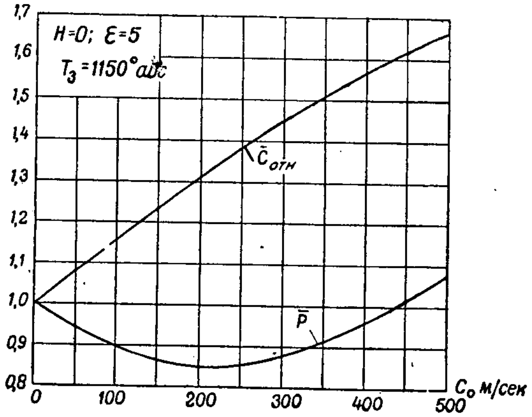
В резултат на влиянието на тези два противоположно действуващи фактора теглителната сила на ТуРД с увеличаване на скоростта в

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

началото намалява дотогава, докато разходът на въздуха през двигателя расте по-бавно, отколкото пада относителната теглителна сила. След това увеличаването на разхода на въздуха започва да преобладава над намаляването на относителната теглителна сила и пълната теглителна сила на двигателя започва да нараства.

Относителното изменение на теглителната сила в зависимост от скоростта при полет близко до земята е показано на фиг. 125. Тук е нанесена също и кривата на относителното изменение на относителния разход на горивото.



Фиг. 125. **Относително изменение на теглителната сила и относителния разход на горивото в зависимост от скоростта на полета (при полет близко до земята)**

Увеличаването на относителния разход на горивото с нарастването на скоростта на полета може да се обясни, като се използва формулата

$$C_{\text{отн}} = \frac{3600\, Q}{\delta H_u\, P_{\text{отн}}}, \qquad (40)$$

съгласно която относителният разход на горивото е право пропорционален на количеството топлина на 1 *кг* въздух, подведена в двигателя, и обратно пропорционален на относителната теглителна сила.

Величината $Q = c_p\,(T_3 - T_2)$, влизаща в числителя на формула 40, с нарастването на скоростта на полета се намалява незначително вследствие повишаването на температурата T_2. Намаляването на Q при увеличаване на скоростта на полета в границите от 0 до 1800 *км/час* (500 *м/сек*) съставлява не повече от 15—20% (гледай фиг. 124). Относителната теглителна сила намалява твърде значително (почти 2 пъти), поради което $C_{отн}$ нараства.

По такъв начин увеличаването на относителния разход на горивото с нарастване на скоростта на полета е предизвикано от това, че относителната теглителна сила намалява значително по-бързо,

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

отколкото количеството топлина, което се подвежда с горивото на 1 *кг* въздух.

Часовият разход на горивото $G_г$ с нарастването на скоростта на полета също така се увеличава. Физически това се обяснява с факта, че с увеличаване на скоростта на полета разходът на въздух през двигателя расте и за загряването на цялата негова маса до исканата температура T_3 е необходимо да се увеличи подаваното количество гориво.

Заедно с това от формулата

$$G_г = \frac{3600\,QG}{\delta H_u} \qquad (41)$$

се вижда, че с увеличаване на скоростта на полета разходът на горивото расте по-бавно от разхода на въздуха, тъй като се намалява количеството топлина Q, което се предава на 1 *кг* въздух (гледай фиг. 124).

Трябва да се отбележи, че увеличаването на разхода на гориво за 1 *кг* теглителна сила с нарастването на скоростта на полета не означава влошаване ефективността на превръщането на топлината в полезна мощност. Полезната мощност на ТуРД се определя не от самата величина на теглителната сила, а от произведението на теглителната сила и скоростта на полета:

$$N_{пол} = \frac{Pc_0}{75}.$$

Ето защо работоспособността на 1 *кг* теглителна сила с растежа на скоростта на полета се увеличава значително по-бързо, отколкото расте разходът на горивото, разходвано за получаването ѝ.

Така например 1 *кг* теглителна сила при скорост 75 *м/сек* дава мощност, равна на 1 *к. с.* Нека при това разходът на горивото, което се разходва за получаване на 1 *кг* теглителна сила, да бъде 1 *кг/час*. При скорост 300 *м/сек* теглителната сила ще развива мощност, равна на 4 *к. с.*, а разходът на гориво на 1 *кг* теглителна сила при това, както се вижда от фиг. 125, ще се увеличи едва 1,5 пъти. Следователно разходът на гориво за 1 *к. с.* се намалява.

Разгледаният пример показва, че по-правилна оценка за ефективността на използуването на топлината в ТуРД (неговата икономичност) дава относителният разход на горивото за 1 *к. с.* полезна мощност на двигателите, т. е.

$$C_e = \frac{G_г}{N_{пол}} = \frac{76}{c_0} C_{отн}.$$

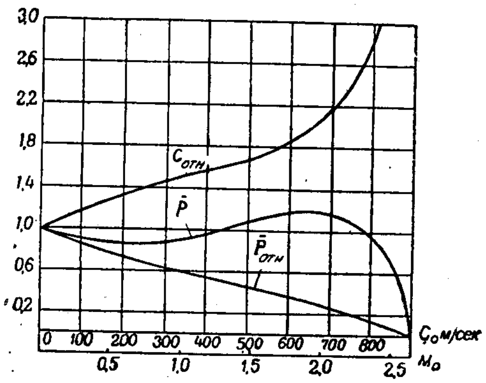
Обаче на практика тази величина се ползува рядко, тъй като при работа на двигателя на място, когато $N_{пол} = 0$, тя става неопределена.

Пълният к. п. д. на ТуРД с увеличаването на скоростта на полета в разгледаните граници расте. Това също така говори за подобряване на използуването на топлината в двигателя с нарастването на скоростта на полета.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

На фиг. 126 са показани характеристиките на ТуРД, построени в по-широк диапазон на изменение на скоростта на полета. От тези характеристики се вижда, че в областта на свръхзвуковите скорости на полета теглителната сила P отначало се увеличава, достига максимума си, а след това започва бързо да пада. Относителният разход на горивото $C_{отн}$ в тази област нараства по-интензивно и се стреми към безкрайност при онова значение на скоростта на полета, при което теглителната сила става равна на нула.



Фиг. 126. Скоростни характеристики на ТуРД

Падането на теглителната сила на двигателя и интензивното повишаване на относителния разход на гориво при свръхзвуковите скорости на полета се обясняват със значителното намаляване на относителната теглителна сила $P_{отн}$, което вече не може да бъде компенсирано от повишаването на разхода на въздуха. Там, където относителната теглителна сила става нула, пълната теглителна сила също така се обръща в нула, а относителният разход на горивото става безкрайно голям.

Рязкото падане на относителната теглителна сила при големите свръхзвукови скорости на полета се обяснява с това, че температурата T_2 в края на сгъстяването се приближава към температурата T_3. Това води до значително намаляване на количеството на подвежданата топлина. В пределния случай, когато относителната теглителна сила става нула, количеството на подвежданата топлина се оказва толкова малко, че стига само за покриване на хидравличните загуби в двигателя.

Сега да разгледаме **височинните характеристики на ТуРД, под които се разбира зависимостта на теглителната сила и относителния разход на гориво от височината на полета при постоянни значения на оборотите и скоростта на полета.**

Височинни характеристики на ТуРД за скорост на полета 300 *м/сек* са показани на фиг. 127. Както се вижда от фигурата, теглителната сила на ТуРД с увеличаване на височината на полета от 0 до 11 *км* бързо пада. Относителният разход на горивото при това се намалява незна-

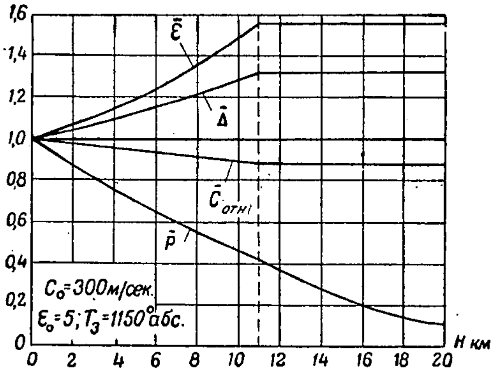
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

чително. От височина 11 *км* характерът на разглежданите криви се изменя. Относителният разход на горивото престава да намалява, а теглителната сила започва да пада още по-интензивно.

За да се обясни характерът на зависимостта на теглителната сила на ТуРД от височината на полета, ще разгледаме как в този случай се изменят относителната теглителна сила и разходът на въздуха.

Относителната теглителна сила при равни други условия зависи от степента на сгъстяване $\varepsilon=\frac{p_2}{p_H}$ и от степента на загряването на въздуха в двигателя $\Delta=\frac{T_3}{T_H}$. С увеличаването на височината на полета до 11 *км* степента на сгъстяване и степента на загряване се



Фиг. 127.* Височинни характеристики на ТуРД за скорости на полета 300 *м/сек

увеличават за сметка на намаляване температурата на въздуха на окръжаващата атмосфера (гледай фиг. 127). Това предизвиква увеличаване на относителната теглителна сила, която до височина 11 *км* нараства приблизително 1,5 пъти (гледай фиг. 128). На височина, по-голяма от 11 *км*, температурата на атмосферата престава да се понижава, поради което степента на сгъстяване и степента на загряване на въздуха, а следователно и относителната теглителна сила остават постоянни.

Ще отбележим, че с изкачване на височина общата степен на сгъстяване на въздуха в ТуРД се увеличава, а степента на разширяване на газа в турбината и температурата пред турбината, както вече беше отбелязано, се запазват приблизително постоянни. Това предизвиква увеличаване на степента на разширяване на газа в реактивното сопло, което е основната причина за увеличаването на относителната теглителна сила, тъй като предизвиква увеличаване на скоростта c_5.

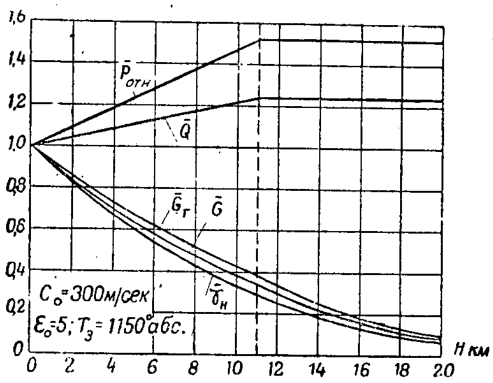
Тегловният разход на въздуха, както е показано на фиг. 128, с изкачване на височина пада много бързо. Това се обяснява със

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

значителното намаляване на плътността на въздуха на окръжаващата атмосфера. Разходът на въздуха, както беше отбелязано, се изменя пропорционално на налягането пред турбината. До височина 11 *км* това налягане пада малко по-бавно от атмосферното вследствие на увеличаването на степента на сгъстяване на въздуха в двигателя. По тази причина и разходът на въздуха пада по-бавно от налягането на околния въздух. Изчисленията показват, че разходът на въздуха пада по-бавно не само от налягането, но и от плътността на окръжаващата атмосфера (гледай фиг. 128).

На височини, по-големи от 11 *км*, степента на сгъстяване престава да се увеличава и разходът на въздуха започва да пада по-интензивно — право пропорционално на налягането (плътността) на окръжаващата атмосфера.



Фиг. 128. **График на зависимостта на $\bar{P}_{отн}$, $\bar{Q}$, $\bar{G}_т$, $\bar{G}$ и γ_H от височината на полета**

Поради това теглителната сила на ТуРД до височина 11 *км* се намалява по-бавно от плътността на въздуха в окръжаващата атмосфера, а на височини, по-големи от 11 *км* — пропорционално на последната.

Относителният разход на гориво до височина 11 *км* малко се снижава. Това се обяснява с увеличаването на степента на сгъстяване на въздуха в двигателя и свързаното с това подобряване на използуването на топлината.

Посоченият характер на зависимостта на относителния разход на горивото от височината може също така да се установи, като се изхожда от формула 40, в която до 11 *км* Q нараства в значително по-малка степен, отколкото $P_{отн}$. Относителното изменение на Q и $P_{отн}$ в зависимост от височината на полета е показано на фиг. 128.

Увеличаването на количеството топлина $Q=c_p\,(T_3-T_2)$ трябва да се обясни с известно намаляване на температурата на въздуха зад компресора с нарастването на височината на полета до 11 *км*

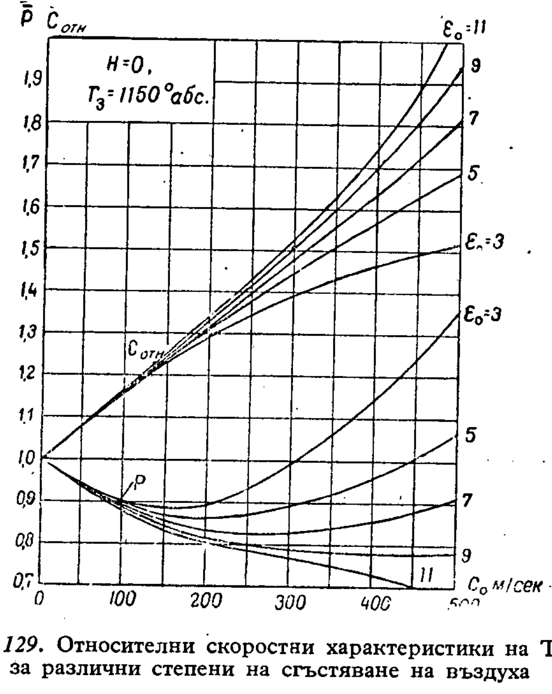
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

вследствие понижаването на температурата на въздуха в окръжаващата атмосфера.

Часовият разход на гориво с увеличаване на височината на полета пада малко по-бавно от разхода на въздуха, което, както се вижда от формула 41, е предизвикано от увеличаването на количеството топлина Q, съобщавано на 1 *кг* въздух, преминаващ през двигателя.

Ще отбележим, че върху величината на относителния разход на горивото оказват влияние още и променливостта на коефициента на отделяне на топлина δ, който на големите височини може малко да се намали поради влошаването на горивния процес. Това обстоятелство не е отчетено при разчета на характеристиките, показани на фиг. 123 и на следващите. Относителният разход на гориво при равни други условия се изменя обратно пропорционално на коефициента на отделянето на топлината.



Фиг. 129. Относителни скоростни характеристики на ТуРД за различни степени на сгъстяване на въздуха

Върху характера на зависимостта на теглителната сила и относителния разход на гориво от скоростта и височината на полета в значителна степен влияят изходните значения на степента на сгъстяване и температурата на газа пред турбината.

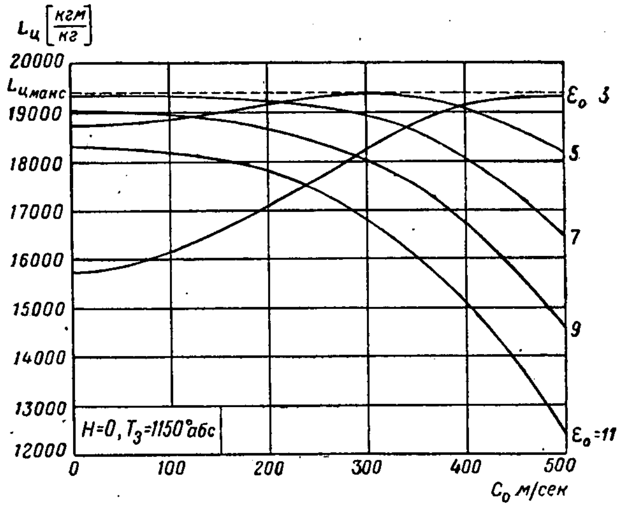
На фиг. 129 е показано относителното изменение на теглителната сила и относителния разход на гориво от скоростта на полета близо до земята за 5 двигателя, които имат различни степени на сгъстяване

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

на въздуха в земни статически условия и еднаква температура на газа пред турбината, равна на 1150⁰ абс. От сравнението на тези характеристики се вижда, че повишаването на степента на сгъстяване води към относително по-бавно намаляване на теглителната сила и увеличаване на относителния разход на гориво с увеличаване на скоростта.

Както се вижда от фиг. 129, при високи степени на сгъстяване (по-високи от 10) кривите, изразяващи зависимостта на теглителната сила от скоростта на полета, вече нямат минимум: теглителната сила непрекъснато се намалява. Това се обяснява с факта, че величината на изходната степен на сгъстяване влияе върху характера на изменение работата на цикъла при изменяване скоростта на полета.



Фиг. 130. **График на зависимостта на $L_ц$ от скоростта на полета за различни значения на степените на сгъстяване на въздуха**

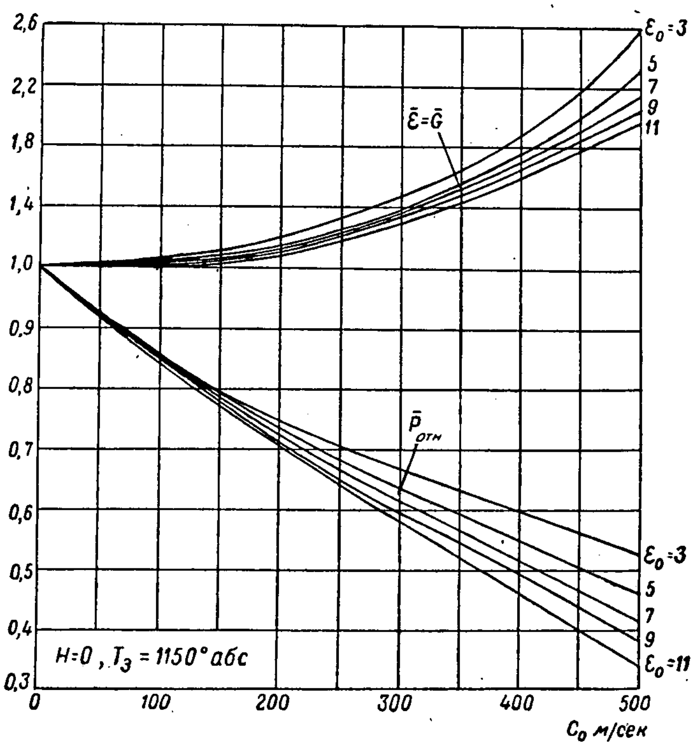
Изменението на работата на цикъла на ТуРД от скоростта на полета при различни значения на изходната степен на сгъстяване на двигателя е дадено на фиг. 130. При двигатели, които имат в земни статически условия степен на сгъстяване, по-малка от оптималната (оптималната степен на сгъстяване в разглеждания случай е равна на 7,2), работата на цикъла с увеличаването на скоростта на полета отначало се увеличава дотогава, докато степента на сгъстяване не достигне посоченото оптимално значение, а работата на цикъла — своята най-голяма величина.

По-нататъшното увеличаване на степента на сгъстяване води вече към намаляване на работата на цикъла. В двигатели, които имат ε_0 по-голяма от $\varepsilon_{опт}$, работата на цикъла с увеличаването на скоростта на полета през цялото време намалява.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

От величината на изходната степен на сгъстяване на двигателя в земни статически условия зависи също така относителното изменение на степента на сгъстяване в зависимост от скоростта на полета, а следователно и разходът на въздуха. С увеличаване на ε_0 кривите на относителното изменение на ε и G в зависимост от скоростта на полета стават по-полегати (фиг. 131). Това се обяснява с обстоятелството, че при големите абсолютни значения на степента на сгъстяване на компресора падането ѝ с увеличаването на скоростта става по-бавно, а поради това и относителното нарастване на $\varepsilon = \varepsilon_к \cdot \varepsilon_{диф}$ става все по-незначително.



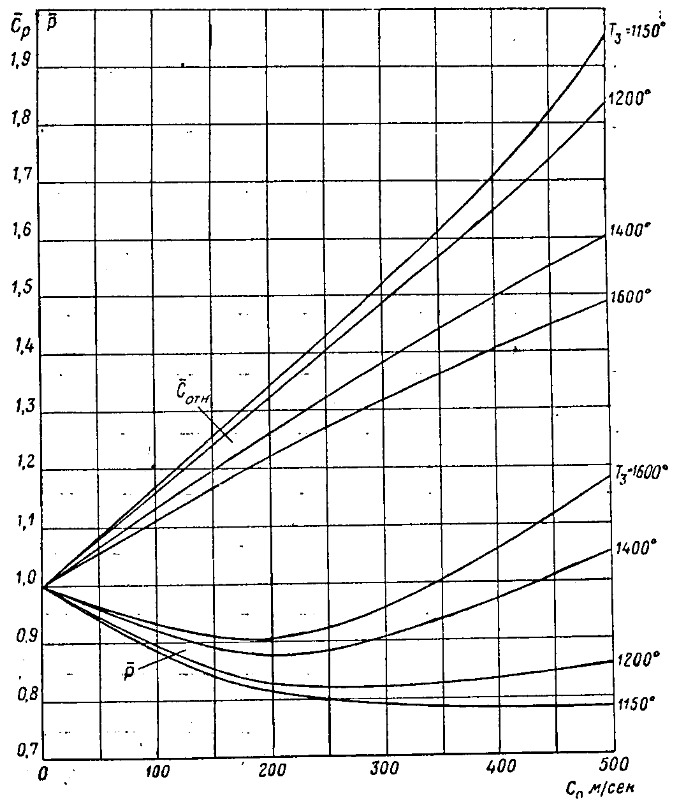
Фиг 131. Относителни изменения на величините $\bar{\varepsilon}$, $\bar{G}$ и $\bar{P}_{отн}$ в зависимост от скоростта на полета за различни степени на сгъстяване на въздуха

В резултат на посочените причини при увеличаване на изходната степен на сгъстяване на компресора относителната теглителна сила на ТуРД с увеличаването на скоростта пада по-интензивно, а степента на сгъстяване и разходът на въздуха започват да нарастват по-бавно. Това от своя страна води към относително намаляване на теглителната сила и до увеличаване на относителния разход на горивото.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

На фиг. 132 са дадени относителните скоростни характеристики на няколко ТуРД, които имат различни значения на температурите на газа пред турбината и еднаква изходна степен на сгъстяване, равна при земни статически условия на 9. От сравняването на тези криви се вижда, че повишаването на температурата T_3 води към увеличаване на относителните значения на теглителната сила и към известно забавяне на растежа на относителния разход на гориво с увеличаване на скоростта на полета. Това се обяснява също така



Фиг. 132. Относителни скоростни характеристики на ТуРД при различни температури на газа пред турбината

главно със значителното влияние на температурата T_3 върху характера на изменението на цикъла с увеличаването на скоростта. Работата на цикъла при ниски значения на температурата T_3 с увеличаването на скоростта на полета обикновено през цялото време пада, тъй като степента на сгъстяване в този случай надвишава оптималната. При увеличаване на температурата T_3 оптималната степен на сгъстяване значително се увеличава и може да превиши нейното

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

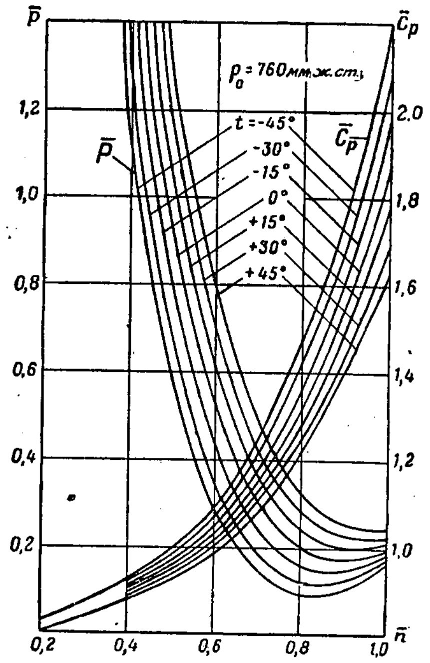
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

значение при земни статически условия. Тогава работата на цикъла с растежа на скоростта на полета отначало ще расте и едва след достигането на $\varepsilon_{опт}$ ще започне да намалява. Посоченият характер на изменение на работата на цикъла в зависимост от скоростта на полета се отразява върху относителната теглителна сила: интензивността на падането ѝ при увеличаване скоростта на полета с растежа на температурата T_3 се забавя. Това от своя страна влияе на вида на кривите за зависимостта на теглителната сила и относителния разход на горивото от скоростта на полета.

Зависимост на основните данни на ТуРД от атмосферните условия

Да изясним как изменението на налягането и на температурата на въздуха в окръжаващата атмосфера влия върху основните данни на ТуРД при работата му с постоянни обороти.

По опитен път е установено, че изменението даже само на атмосферното налягане предизвиква пропорционално изменение на налягането по цялата дължина на двигателя. Температурата и скоростта на газа в различните сечения на двигателя при това се запазват постоянни. В разглеждания случай всичките относителни величини, като степента на сгъстяване, отношенията на температурите, отношенията на скоростите, к. п. д. на отделните елементи на двигателя и т. н., ще останат постоянни, а разходът на въздуха, разходът на горивото и теглителната сила на двигателя ще се изменят пропорционално на изменението на атмосферното налягане.



Фиг. 133. График на зависимостта на $\bar{P}$ и $\bar{C}_{отн}$ от температурата на атмосферния въздух и относителните обороти на двигателя

По-значително влияние върху работата на двигателя ще окаже изменението на температурата на околния въздух. На фиг. 133 са показани относителните стендови характеристики на ТуРД, съответствуващи на постоянно налягане $p_0 = 760$ *мм* ж. стълб и различни температури на околния въздух. От този график се вижда, че намаляването на температурата води към значително увеличаване на

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

теглителната сила на двигателя и до намаляване относителния разход на горивото. Така например при максимални обороти понижението на температурата от $+30^0$ до -30^0C предизвиква увеличаване на теглителната сила на двигателя с $45^0/_0$ и намаляване на относителния разход на горивото с $10^0/_0$.

За обяснение на зависимостта на теглителната сила от температурата на околния въздух ще използуваме формулата

$$P = GP_{\text{отн}}.$$

Тегловният разход на въздуха G при намаляване на атмосферната температура значително нараства. Това се дължи на увеличената плътност на въздуха, който влиза в двигателя. Относителната теглителна сила $P_{\text{отн}}$ при това също така се увеличава, което се обяснява с повишаване степента на сгъстяване ε и степента на загряване на въздуха $\Delta = \frac{T_з}{T_H}$. Причината за повишаването на степента на сгъстяване на въздуха при намаляване на температурата беше изяснена още при разглеждането на характеристиките на компресорите, където беше отбелязано, че по-хладният въздух по-лесно се сгъстява, поради което при постоянни обороти на компресора той може да бъде сгъстен до по-високо налягане. Увеличаването на степента на загряване на въздуха е предизвикано от това, че температурата на газа пред турбината при различни атмосферни условия и при постоянни обороти практически остава постоянна, поради което намаляването на T_H води до увеличаване на Δ. Разгледаните причини предизвикват значително изменение на теглителната сила при изменението на температурата на околния въздух.

Намаляването на относителния разход на горивото при понижаване на атмосферната температура се обяснява главно с увеличаването на степента на сгъстяване на въздуха в двигателя, което способствува за по-доброто използуване на топлината.

По такъв начин атмосферните условия оказват значително влияние върху теглителната сила и относителния разход на гориво на ТуРД. Оттук се явява необходимостта от привеждането им към стандартни атмосферни условия.

Привеждането на данните от изпитанията на ТуРД към стандартни атмосферни условия е основано на използуването на теорията за подобието на газовите потоци и по-конкретно на понятието за подобните режими на работа на ТуРД.

Установено е, че два различни режима на работа на ТуРД ще бъдат подобни в случай, че при наличието на геометрическо подобие имат еднакви числа M_0 и M_u, равни съответно:

$$M_0 = \frac{c_0}{\sqrt{kg \cdot T_H}}; \quad M_u = \frac{u}{\sqrt{kg \cdot T_H}},$$

където u е окръжната скорост на ротора.

Числата M_0 и M, постоянството на които при различните условия на работа на двигателя осигурява подобието на неговите ре-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

жими, е прието да се наричат *критерии на подобието*. За критерии на подобието на ТуРД вместо числата M_0 и M_u може да се приемат каквито и да било други два параметра, пропорционални на тях или еднозначно изразяващи се чрез тях, например

$$\frac{c_0}{\sqrt{T_H}} \text{ и } \frac{n}{\sqrt{T_H}}.$$

При работа на двигателя на място $M_0=0$. Следователно в този случай за получаване на подобни режими на ТуРД се изисква съблюдаването само на едно условие, а именно:

$$\frac{n}{\sqrt{T_0}}=\text{const.}$$

На подобните режими, както това отчасти вече е известно от теорията на компресорите, отношенията на наляганията, скоростите и температур .. в различните сечения на двигателя, к. п. д. за всеки от неговите елементи, числата M във всяко сечение и всички други безразмерни параметри се запазват постоянни.

Подобието в турбо-реактивния двигател се осигурява за сметка на това, че при равенството на числата M_0 и M_u компресорът и турбината работят на подобни режими. Топлинните процеси в горивната камера при това, строго погледнато, не са подобни, тъй като за тяхното подобие освен равенството на числата M е необходимо още постоянството на редица други критерии, което в разглеждания случай не се спазва. Обаче експериментите показват, че подобието на останалите работни процеси в двигателя с това не се нарушава.

Оттук става ясно, че за подобие на работните процеси на ТуРД може да се говори само с приближение, тъй като към редицата допускания, изтъкнати в теорията на компресорите и турбините, основното от които се състоеше в пренебрегване влиянието на числото Re върху работата на компресора и турбината, се добавя още и отсъствието на подобие на топлинните процеси в горивната камера. Независимо от това използуването на понятието за подобие на режимите на работа на ТуРД се оказва твърде полезно и позволява да се решат редица задачи с достатъчна за практиката точност.

Същността на метода на привеждането на данните от стендовите изпитания на ТуРД към стандартни атмосферни условия (САУ) се състои в следното:

При всички атмосферни условия на двигателя може да се зададе режим, подобен на интересуващия ни режим на работа в САУ при обороти n; за това е необходимо при изпитанието да се установят обороти n', определени по формулата

$$n'=n\sqrt{\frac{T_0}{288}}, \tag{42}$$

където T_0 е температурата на околния въздух при изпитанието.

На установен режим всички относителни (безразмерни) параметри ще бъдат също такива, както и при интересуващия ни режим на

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

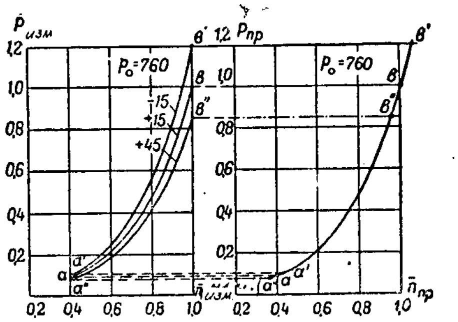
работа в САУ, но теглителната сила, разходът на въздуха и относителният разход на горивото при тях ще бъдат различни (тъй като последните не са безразмерни величини). Обаче те са свързани помежду си със следните прости съотношения:

$$P = P'\frac{760}{p_0};\quad G = G'\frac{760}{p_0}\sqrt{\frac{T_0}{288}};\quad C_{\text{отн}} = C'_{\text{отн}}\sqrt{\frac{288}{T_0}}. \qquad (42')$$

Тези формули, установяващи взаимна връзка на данните на ТуРД на два подобни режима, са получили наименованието фóрмули за привеждане.

Принципът на привеждане на данните от стендовите изпитания на ТуРД към САУ по формулите 42 и 42′ се състои в следното. Като се използува условие 42, определят се оборотите, при които режимът на работа на ТуРД при дадени атмосферни условия (p_0 и T_0) се получава подобен на стандартния. Като се установи двигателят на тези обороти, измерват се P', G', $C'_{\text{отн}}$ и другите интересуващи ни данни за двигателя. Измерените величини се привеждат към САУ по формула 42′.

При изпитанието на ТуРД обикновено се снемат всичките характеристики в зависимост от оборотите, а след това по формули 42 и 42′ те се привеждат към стандартни условия.



Фиг. 134. **Към привеждане на данните от изпитанието на двигателя към стандартни атмосферни условия**

Ако стендовите характеристики на някой двигател са получени при различни атмосферни условия, след като се приведат към САУ, трябва да се съвпадат. Трябва обаче да се отбележи, че точките, съответстващи на еднакви обороти и различни температури T_0, след привеждането попадат на различни места поради разлика в приведените обороти. Това може да се проследи по фиг. 134, на която отляво са показани кривите на измерените теглителни сили при различни температури на околния въздух, а отдясно са показани същите тези криви след привеждането им към САУ. Разположението на кривата *ав* след привеждането не се е изменило, тъй като тя съответствува на стандартната температура $t_0 = 15^0$C. Кривата *а′в′*, получена при температура $t_0 =$ —15°С, след привеждането към САУ се е изместила вдясно по отношение на кривата *ав*, тъй като при привеждането абсцисите на нейните точки са се увеличили, а ординатите са останали постоянни. Кривата *а″в″*, съответствуваща на $t_0 = 45^0$C, се е изместила вляво.

От разглежданите графици се вижда, че при температура $t_0 > 15^0$ C не може да се получи режим на работа на ТуРД, съответствуващ на максималните приведени обороти, тъй като в дадения случай на

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

максималните измерени обороти (точка „в“) съответствуват приведени обороти, по-малки от максималните. В това се състои основният недостатък на метода на привеждане на данните от стендовите изпитания на ТуРД към САУ, основан на използуването на теорията на подобието. Този метод не дава възможност при полет, когато температурата $t_c > 15^0C$, при изпитание на двигателя с максимално допустими обороти да се получи режим, подобен на режима на работа на ТуРД при САУ. В този случай е невъзможно да се провери дали изпитваният двигател удовлетворява техническите условия на максимален режим, поради което се налага да се ограничаваме с проверка на данните му на понижени режими (номинален или експлоатационен).

Управление и регулиране на турбо-реактивните двигатели

През време на експлоатацията на авиационните двигатели важно значение има тяхната управляемост, т. е. възможността за бързо изменение режима на работа с цел да се получат исканите значения на теглителната сила и разхода на горивото. Това се постига със системата за регулиране.

Системата за регулиране трябва, от една страна, да осигурява най-изгодно протичане на работния процес на двигателя, т. е. да осъществява такъв закон на изменението на режима на двигателя в зависимост от скоростта и височината на полета, при който би се достигнало най-изгодно протичане на неговите характеристики. От друга страна, системата за регулиране трябва да гарантира устойчива работа на двигателя и бързо протичане на преходните процеси.

В съответствие с това системата за управление и регулиране на ТуРД трябва да удовлетворява следните основни изисквания:

1. Регулируемите устройства трябва да се управляват по такъв начин, че при установяването им в положение, съответствуващо на пълен газ, да се достига най-голяма теглителна сила при всички условия на работа на двигателя, доколкото това е възможно без опасност за неговото повреждане.

2. При установяване регулируемите органи в положения, съответствуващи на крейсерски режим, трябва да се достига възможно най-малък разход на гориво.

3. За избягване повреждането на двигателя системата за регулиране трябва да не позволява превишаването на допустимата температура на газа пред турбината и допустимите обороти, а така също работа на двигателя в областта на неустойчивите режими.

4. Системата за управление и регулиране трябва да осигурява пускането на двигателя, безпрепятственото му извеждане на работен режим, а така също да способствува за подобряване на преходността му.

5. Тя трябва да осигурява сигурна и устойчива работа на двигателя на всички режими, и особено на режимите на малък газ, при

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

големи височини на полета, а така също на преходните режими, т. е. при бързо увеличаване или намаляване оборотите на двигателя.

Под способ за регулиране на ТуРД се подразбира съвкупността от такива средства, с помощта на които се достига поддържане на регулируемите параметри или изменението им по определен закон.

Числото на регулируемите параметри в зависимост от типа на ТуРД, неговата конструкция и назначение може да бъде различно.

Най-простата система за регулиране се използува в ТуРД с центробежни компресори, които имат постоянна площ на изходното сечение на реактивното сопло.

В тоя случай ТуРД се явява обект с един регулируем параметър, например числото на оборотите или температурата на газа пред турбината. Обикновено за регулируем параметър се приемат оборотите, тъй като с тях може да се установи режимът на работа на двигателя и да се изменя в широки граници. Освен това оборотите на двигателя по-лесно се измерват, отколкото температурата на газа пред турбината.

Обаче такава система за регулиране даже за ТуРД с центробежни и особено за ТуРД с осеви компресори има ограничени възможности и не винаги позволява да се осигури оптимално протичане на характеристиките на работния процес.

Желателно е понякога да има независимо изменение на оборотите и температурата на газа пред турбината, което е възможно само при едновременно изменение количеството на подаваното гориво и площта на изходното сечение на реактивното сопло.

* * *

Да разгледаме как трябва да се осъществи регулирането на ТуРД с цел да се осигури максимална теглителна сила в полет.

Най-голяма теглителна сила се получава при максимални значения на оборотите и температурата на газовете пред турбината; ето защо за осигуряване максимално възможна теглителна сила при изменение на скоростта и височината на полета е нужно оборотите на двигателя и температурата на газа пред турбината да се поддържат постоянни.

Поддържането на постоянно число обороти при различни режими на полета се постига чрез съответно изменение количеството на подаваното гориво в горивните камери на двигателя. Намаляването на оборотите с 1% може да доведе до падане на теглителната сила на ТуРД в полет с 4—6%. От друга страна, повишаването на числото на оборотите с 1% над допустимото намалява запаса на якост на въртящите се части на турбината и компресора с 3—5%. Оттук следва, че постоянството на оборотите трябва да се поддържа с голяма точност.

На съществуващите конструкции реактивни двигатели се използуват две схеми за регулиране на оборотите: затворена схема с центро-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

бежен регулатор на подаването на гориво и незатворена схема с барометричен регулатор на подаването на гориво.

В затворената схема чувствителният елемент (измерва скоростта на въртене на ротора) се намира под непосредственото въздействие на регулируемия параметър — числото на оборотите, което позволява да се осигури висока точност на регулиране на оборотите. Обаче в тоя случай възникват редица трудности, свързани с осигуряване устойчивост в работата и съответно протичане на преходните процеси.

В незатворената схема чувствителният елемент на системата (барометричният регулатор) се намира под въздействието не на непосредствено регулируемия параметър — числото на оборотите, а на някои косвени фактори, влиянието на които върху величината на оборотите трудно се отчита. По тая причина при регулиране по незатворената схема е трудно да се достигне поддържане на постоянни обороти. В това се състои нейният съществен недостатък.

Обикновено барометричният регулатор изменя налягането на горивото пропорционално на пълното налягане на въздуха на входа в компресора p^*. В тоя случай разходът на гориво се изменя приблизително пропорционално на $\sqrt{p^*}$. Изчисленията показват, че величината $\sqrt{p_1^*}$ пада по-бавно с изкачване на височина и расте по-бавно с увеличаване на скоростта, отколкото разходът на гориво, необходим за поддържане постоянни обороти на двигателя. Възниква нуждата от използуване на автоматичен ограничител на максималните обороти, а така също и от специални коректори, изменящи настройката на регулатора на подаването на гориво по определен закон, така че количеството на подаваното гориво да се приближи към потребната величина. Това усложнява системата за регулиране и осигурява поддържането на регулируемия параметър само приблизително. Основното преимущество на регулаторите, работещи по незатворената схема, се състои в това, че те са по-прости и позволяват да се получи по-добра устойчивост на процеса на регулирането.

Поддържането на постоянна температура на газа пред турбината при постоянни обороти изисква в общ случай използването на регулируеми реактивни сопла. В двигателите с нерегулируемо сопло при наличие на регулатор за постоянство на оборотите температурата на газа пред турбината може само да се ограничава. Както и при регулиране на оборотите, тук могат да се използват регулатори, реагиращи непосредствено температурата T_3 или осигуряващи косвено нейното поддържане.

Като чувствителни елементи в регулаторите от първия тип трябва да се използват всякакви малоинерционни термометри (термоелектрически, дилатометрически[1] и др.).

Създаването на регулатори, непосредствено реагиращи на температурата пред турбината, обаче е свързано с редица трудности, възник-

[1] Разширителни.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ващи от инертността на датчика, а така също от сложността на измерване температурата на газа.

Важно значение има изборът на мястото за измерване на температурата. Температурата на газа пред турбината се разпределя неравномерно по сечението и се изменя по време, което се дължи на нестационарността на процесите на смесване и горене. Като се изхожда от това, топлочувствителният елемент е по-удобно да се помества зад турбината, където температурата е по-равномерно разпределена по сечението и е със 150—200⁰ по-ниска от температурата пред турбината. Температурата зад турбината действително не напълно вярно определя температурата пред турбината, но това несъответствие не е голямо и обикновено може да се пренебрегне.

Изменението на площта на изходното сечение на реактивното сопло f_4 при n = const въздействува върху температурата на газа пред турбината по следния начин: при увеличаване на площта температурата T_3 се намалява, а при намаляването ѝ — нараства.

Това може да се обясни със следните причини:

Увеличаването на площта f_4 довежда до намаляване налягането зад турбината и следователно до увеличаване разликата на наляганията в турбината. При неизменен разход на гориво това би трябвало да предизвика повишаване числото на оборотите на двигателя. За запазване оборотите постоянни трябва да се намали количеството на подаваното гориво и следователно да се понижи температурата на газа пред турбината, в резултат на което ще се установи нов режим на работа на двигателя, който съответствува на предишните обороти и на по-малка температура T_3.

При намаляване площта на изходното сечение на реактивното сопло става обратно явление: степента на разширение на газа в турбината се намалява, а разходът на гориво и температурата T_3 се увеличават.

* * *

Да преминем към разглеждане регулирането на ТуРД с цел да се подобри неговата икономичност на крейсерските режими.

При работа на двигателя на крейсерски режими икономичността му може да се подобри незначително чрез регулиране площта на изходното сечение на реактивното сопло. Това следва от обстоятелството, че на всяка степен на сгъстяване на въздуха в ТуРД съответствува собствена най-изгодна температура на газа пред турбината, при която относителният разход на горивото е минимален. Ако двигателят има нерегулируемо реактивно сопло, в този случай на всяко значение на оборотите (с което в действителност се установява една или друга степен на сгъстяване на въздуха в двигателя), ще съответствува напълно определена температура T_3. Величината на тая температура се определя от баланса на мощността на компресора и на турбината и може да не съответствува на най-изгодното ѝ от гледна точка на икономичност значение.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

За да се убедим в това, достатъчно е да разгледаме например, максималния режим на двигателя, при който температурата T_3 е с 200—300° С по-висока от $T_{3\,ек}$. Намаляването на разчетната величина на температурата T_3 при максимални обороти е неизгодно, тъй като това довежда до увеличаване относителното тегло и намаляване относителната челна теглителна сила на двигателя. На крейсерски режими, където се изисква понижена теглителна сила, намаляването на теглителната сила до известна граница може да се осъществи чрез намаляване температурата на газа пред турбината, чрез увеличаване площта f_4 при запазване на постоянни обороти. С това може да се достигне и намаляване на относителния разход на гориво.

Обаче трябва да се има предвид, че в реални условия на работа на двигателя при изменяване площта на изходното сечение на реактивното сопло и запазване оборотите постоянни режимите на работа на компресора и турбината се изменят. При увеличаване площта f_4 и свързаното с това намаляване на температурата на газа пред турбината разходът на въздуха през компресора се увеличава. Това довежда до известно намаляване на неговата степен на сгъстяване и к. п.д. При това нарастват разликата в налягането пред и зад турбината и числото M на изхода. Ако турбината на разчетен режим има на изхода голямо число M, това може да доведе до значително снижаване на к. п. д. на турбината и реактивното сопло. Всичко това показва, че печалбата, която се получава от подобряване икономичността, в тоя случай ще зависи от характеристиките на компресора и турбината.

Законът на изменение количеството на подаваното гориво (оборотите) и площта на изходното сечение на реактивното сопло, при който става най-рационално използуване на двигателя в полет, е прието да се нарича *програма на регулирането*.

Изборът на програмата на регулирането може да бъде извършен чрез непосредствена регулировка на системите за регулиране през време на летателните изпитания или чрез изчисление. В последния случай трябва да се знаят характеристиките на компресора и турбината или данните от специалните стендови изпитания.

С използуването на регулируемо реактивно сопло може да се подобри преходността на двигателя. Това се обяснява с обстоятелството, че с увеличаване сечението на реактивното сопло може да се увеличи разликата в налягането пред и зад турбината и с това да се повиши разликата между мощността, развивана от турбината, и необходимата мощност за въртене на компресора, при условие, че максимално допустимото значение на температурата на газа се запазва.

Във връзка с използуването на регулируеми реактивни сопла във форсираните чрез допълнително изгаряне на гориво зад турбината ТуРД естествено възниква необходимост от използуването им също така с цел да се подобри преходността и да се осигурят оптимални характеристики на работния процес.

В заключение ще отбележим, че използуването в съвременните двигатели на осеви компресори с високи степени на сгъстяване и

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

многостепенни газови турбини трябва да доведе и действително довежда до увеличаване числото на регулируемите параметри и до значително усложняване на системата на регулирането. Както беше вече указано, ТуРД с високонапорни осеви компресори не могат да излязат на номинален режим без изпускане на въздух от някои степени или без използуването на подвижни (завъртващи се) лопатки на направляващия апарат на една или няколко степени на компресора. По такъв начин се появяват допълнително още органи за управление, които се използуват за облекчаване пускането и подобряване преходността, но могат да се използуват също така и за подобряване работния процес на двигателя в полет.

Условия за възникване на помпаж в турбо-реактивните двигатели и мерки за отстраняването му

Както беше вече изтъкнато, помпаж се нарича неустойчива работа на компресора, при която в отделните му елементи се появява интензивно откъсване на въздушния поток. Помпажът може да възникне при работа на компресора само в определена област на неговите характеристики, която е прието да се отделя от областта на устойчивата работа на компресора с границата на помпажа. Оттук следва, че помпажът при експлоатацията на компресора на ТуРД може да възниква, започвайки от момента, когато линията на съвместната работа на компресора и турбината (експлоатационната характеристика) пресече някъде границата на помпажа. Да установим кога такива случаи са възможни.

На фиг. 70 *а* е изобразена типична характеристика на центробежен компресор на ТуРД в координати

$$n_{\text{пр}}=n\sqrt{\frac{288}{T_H^*}} \quad \text{и} \quad G_{\text{пр}}=G\sqrt{\frac{T_H^*}{288}}\cdot\frac{760}{t_H^*}$$

с нанесена експлоатационна характеристика. Експлоатационната характеристика при големи значения на приведените обороти пресича границата на помпажа. Тези обороти ще наречем **критически**. Помпаж в ТуРД ще възникне при условие, че

$$n_{\text{пр}}\geqslant n_{\text{кр}}.$$

Оттук следва, че положението на експлоатационната крива на характеристиката на компресора трябва да бъде избрано така, че критическите обороти да са по-големи от максималните.

Превишението на критическите обороти над максималните, изразено в проценти, се нарича запас на устойчивост на компресора на ТуРД на помпаж.

Следователно запасът на устойчивост на компресора се определя по формулата

$$\sigma_n=\frac{n_{\text{кр}}-n_{\text{макс}}}{n_{\text{макс}}}\cdot 100\%. \qquad (43)$$

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Ще разгледаме в какви случаи $n_{пр}$ може да стане по-голям от $n_{кр}$.

При работа на двигателя на място, както е известно,

$$n_{пр} = n\sqrt{\frac{288}{T_0}},$$

където n е действителните обороти на двигателя;

T_0 е действителната температура на външния въздух.

Оттук се вижда, че при работа на ТуРД на място $n_{пр}$ достига най-голямото си значение при максимални обороти на двигателя и при ниски температури на окръжаващия въздух. Така например, за да има помпаж при температура на окръжаващия въздух —40°С, необходимо е

$$n_{кр} \geqslant n_{пр} = n_{макс}\sqrt{\frac{288}{233}}.$$

За тази цел компресорът трябва да притежава запас на устойчивост на помпаж

$$\sigma_n \geqslant \left(\sqrt{\frac{288}{233}} - 1\right).100 = 11\%.$$

При работа на двигателя в полет приведените обороти са равни на (гледай формула 21)

$$n_{пр} = n\sqrt{\frac{288}{T_H^*}} = n\sqrt{\frac{288}{T_H + \xi\left(\frac{c_1}{100}\right)^2}}.$$

В този случай приведените обороти ще достигат максималните си значения при максимални обороти на двигателя, малки скорости на полета и ниски температури на окръжаващия въздух. Затова най-неблагоприятни от гледна точка на възможност за появяване на помпаж ще бъдат режимите на работа на двигателя на големи височини, при максимални обороти с малки скорости. Най-характерният режим на полета, при който могат едновременно да се изпълнят всички указани условия, е режимът на набиране височина.

Потребният запас на устойчивост на помпаж на ТуРД в полет може да се определи, като във формула 43 вместо $n_{пр}$ се постави $n_{кр}$ и предположим, че $n = n_{макс}$. Тогава ще получим

$$\sigma_n \geqslant \left(\sqrt{\frac{288}{T_H + \xi\left(\frac{c_0}{100}\right)^2}} - 1\right).100\%.$$

От тая формула може да се определи минималният запас на устойчивост на компресора на ТуРД, при наличието на който помпаж в полет не възниква, или обратно, когато знаем запаса на устойчивост на компресора, можем да определим при какви режими на полета (M_0 и T_H) ще възниква помпаж.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Така например, за да не възниква помпаж при полет в стандартни условия на атмосферата на всички височини и при $c_0 \geqslant 100$ *м/сек*, е необходимо

$$\sigma_n \geqslant \left(\sqrt{\frac{288}{216{,}5+5\left(\frac{100}{100}\right)^2}}-1\right).100=14{,}5^0/_0.$$

Ако се отчете, че температурата на големи височини може да бъде по-малка от минимално допустимата по стандартната атмосфера (т. е. по-малка от 216,5° абс.), трябва да имаме още по-голям запас на устойчивост.

За да се излезе от режима на появил се в полет помпаж, необходимо е да се намалят $n_{пр}$ до такава величина, че да станат по-малки от $n_{кр}$.

Намаляването на $n_{пр}$ може да се постигне, както се вижда от формула 21, по следните начини: намаляване оборотите на двигателя, увеличаване скоростта на полета, намаляване височината на полета.

За предотвратяване на помпаж при полет на големи височини може да се използува изпускане на част от въздуха от компресора в атмосферата или на входа в компресора. С това се постига увеличаване разхода на въздуха през компресора (при запазване практически постоянна величината на разхода на газа през турбината) и отстраняване условията, благоприятствуващи възникването на помпаж.

* * *

В осевите компресори на ТуРД помпаж може да възниква при големи и малки значения на приведените обороти. Типична характеристика на осев компресор с нанесена на нея експлоатационна крива е показана на фиг. 70 *б*. В тоя случай експлоатационната крива, както се вижда, може да пресича границата на помпажа както при малко, така и при голямо значение на $n_{пр}$.

Необходимо е да се напомни, че при възникване на помпаж в осевия компресор критическите значения на разхода на въздуха, които съответствуват на началото на помпажа, се достигат в различните степени неедновременно: при намаляване приведените обороти помпажът възниква на първите степени, а при значителното им увеличаване — на последните.

Експлоатацията на осевите компресори в сравнение с центробежните особено се затруднява поради възможността от поява на помпаж при преминаване от режим на малък газ на работни режими на двигателя. За да се осигури излизането на двигателя на работни режими, се използуват, както беше вече казано, редица специални мерки. Най-ефективни са поставянето на завъртващи се при нужда лопатки на входа в компресора и изпускане на част от въздуха от някоя промеждутъчна степен на компресора в атмосферата или на входа в компресора.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

С изпускането на въздух се дава възможност да се увеличи обемният разход на въздуха през първите степени на компресора, които работят на левите части на своите характеристики. В резултат на това се постига извеждането им от зоната на помпажа, а така също увеличаването на степента на сгъстяване и к. п. д. Във връзка с повишаване степента на сгъстяване в първите степени обемният разход на въздуха през последните степени на компресора се намалява. Това от своя страна предизвиква увеличаване степента на сгъстяване и к. п. д. на последните степени, които работят на десните части на своите характеристики (около режима на нулев напор). По такъв начин с изпускането на въздуха се постига не само отстраняването на помпажа, но и повишаване степента на сгъстяване и к. п. д. на компресора на неразчетни режими, а следователно се облекчава излизането на двигателя на работни режими и се подобрява преходността му.

Завъртването на направляващите апарати на една-две предни степени позволява да се намалят ъглите на атака на обтичащия лопатките на работните колела въздушен поток, което, както е известно, премества границата на помпажа в областта на по-малките разходи на въздуха.

Избягването на помпажа при големи приведени обороти в ТуРД с осеви компресори при нужда може да бъде достигнато чрез завъртване направляващите апарати на една-две от последните степени, а така също чрез изпускане на въздух от компресора в атмосферата или на входа в компресора.

Трябва да се отбележи, че регулирането на осевия компресор чрез изпускане на въздух и завъртване при нужда на входния направляващ апарат може да се използува също така и за намаляване на мощността, необходима за пускане на двигателя (мощността на пусковия стартьор).

Помпаж на ТуРД може да се появи също така и при бързо увеличаване оборотите на двигателя. Увеличаването на оборотите се осъществява чрез подаване в горивната камера на по-голямо количество гориво, отколкото е необходимо за работа на двигателя на установен режим. Допълнителното повишаване температурата на газа в горивната камера през време на набиране на обороти от двигателя в сравнение с температурата при установен режим довежда до намаляване разхода на въздуха. Това се обяснява с обстоятелството, че величината на разхода на въздуха в ТуРД зависи не само от размерите на проходните сечения на турбината и реактивното сопло, но и от температурата на газа пред турбината. Рязкото повишаване на тая температура през време на увеличаването на оборотите въздействува на компресора подобно на притваряне с дроселна заслонка (топлинно дроселиране). Ето защо експлоатационната характеристика през време на увеличаване оборотите се премества в областта на по-малките разходи на въздуха (в сравнение с експлоатационната характеристика на установен режим) и се приближава

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

към границата на помпажа. Ако тя пресече тая граница, може да възникне помпаж.

За да се предотврати появяването на помпаж в такъв случай, трябва да се намали интензивността на подаване на гориво в горивните камери през време на увеличаване на оборотите, като ръчката за газ се дава по-бавно. Регулиране интензивността на подаване на гориво може да се постигне и чрез използуване на специален автомат за преходността.

Устойчивостта на работата на двигателя при увеличаване на оборотите може да се подобри чрез изпускане на част от въздуха и използуване на завъртващи се при нужда лопатки на направляващия апарат.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Доцент, кандидат по техническите науки
инженер-подполковник Р. М. ФЕДОРОВ

ФОРСИРАНЕ НА ТУРБО-РЕАКТИВНИТЕ ДВИГАТЕЛИ

Едно от средствата за увеличаване скоростта, скороподемността и височината на полета на съвременните самолети е увеличаването теглителната сила на техните турбо-реактивни двигатели.

Форсиране на ТуРД се нарича кратковременното увеличаване на теглителната му сила в сравнение с теглителната сила на номинален (разчетен) режим. Форсирането може да се използува при излитане на самолета за намаляване дължината на разбега или в полет, например за кратковременно повишаване максималната скорост на полета, скороподемността, тавана на самолета и т. н.

По-нататък ще бъдат разгледани три най-често използувани способа за форсиране на ТуРД.

Теглителната сила на турбо-реактивния двигател, както е известно, е равна на произведението от разхода на въздуха и разликата между скоростта на изтичането и скоростта на полета:

$$P=\frac{G}{g}(c_5-c_0)=P_{\text{отн}}G. \quad (44)$$

Ето защо увеличаването на теглителната сила при форсиране на двигателя може да се постигне както за сметка на увеличаване разхода на въздуха, така и за сметка на повишаване относителната теглителна сила.

Пръв и най-често използуван способ за форсиране на ТуРД е увеличаване оборотите на двигателя чрез увеличаване количеството гориво, впръскано в горивните камери. Увеличаването на количеството гориво се съпровожда от повишаване на температурата на газовете пред турбината, което довежда до увеличаване мощността на турбината и съответно числото на оборотите на двигателя. В резултат на горното налягането на въздуха зад компресора се увеличава и разходът на въздуха през двигателя расте. Освен това увеличаването на температурата на газовете пред турбината способствува за повишаване относителната теглителна сила на двигателя*. Едновременното увеличаване разхода на въздуха и относителната теглителна сила довежда до рязко нарастване теглителната сила на двигателя (приблизително пропорционално на четвъртата степен от числото на оборотите).

* Гледай стр. 163

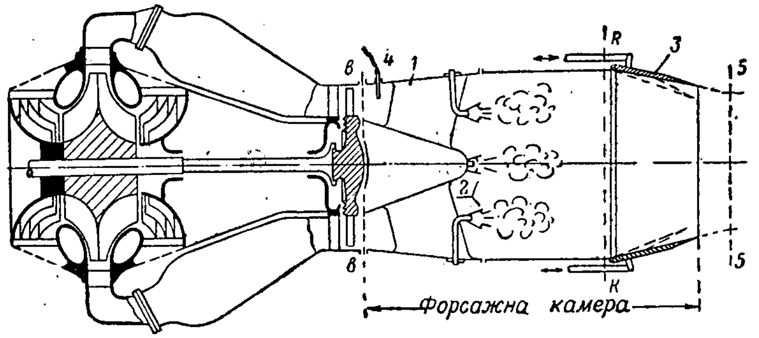
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Относителният разход на гориво $C_{отн}=\frac{G_г}{P}$ *кг/кг.час* при форсиране на двигателя чрез увеличаване числото на оборотите почти не се изменя.

Описаният способ за кратковременно увеличаване теглителната сила се използува в много турбо-реактивни двигатели при излитане. Но значителното форсиране на двигателите по този способ е ограничено, тъй като увеличаването на температурата на газовете при едновременно увеличаване оборотите на двигателя е ограничено от здравината на работните лопатки на турбината на двигателя и другите му части.

Втори широко разпространен способ за форсиране на ТуРД е изгарянето на гориво зад турбината на двигателя. Коефициентът на излишния въздух в основните горивни камери на ТуРД, както е известно, е равен на 4—4,5. Ето защо в газовете, постъпващи от горивните камери през турбината в реактивното сопло, има още голямо количество кислород, което може да бъде използувано за изгаряне на допълнително количество гориво. За тази цел между турбината и реактивното сопло се помества специална камера (форсажна камера) с установени в нея горивни форсунки.



Фиг. 135. Схема на ТуРД с форсажна камера:

1 — дифузор; *2* — стабилизатор на пламъка; *3* — регулируемо реактивно сопло; *4* — термопари; *5—5* — сечение зад двигателя; *в—в* — сечение зад турбината; *к—к* — сечение пред реактивното сопло

Схема на ТуРД с форсажна камера е показана на фиг. 135. Изгарянето на горивото в камерата става от кислорода, съдържащ се в достатъчно количество в излизащите от турбината газове. За намаляване скоростта на газовете, която на излизане от турбината достига до 400 *м/сек*, между турбината и форсажната камера се поставя дифузор *1*. Снижаването на скоростта на газовете в дифузора и използуването на стабилизатори на пламъка *2* осигуряват устойчивост на горенето при различни условия на полета. В резултат на изгарянето на горивото във форсажната камера значително се повишава температурата на газовете пред реактивното сопло (в сечението *к—к*) при почти постоянно тяхно налягане. Съответно се увеличава

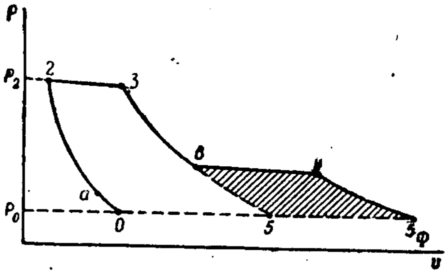
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

скоростта на изтичане на газовете от реактивното сопло, което довежда до нарастване относителната теглителна сила на двигателя.

Увеличаването на температурата на газовете пред реактивното сопло води до снижаване тяхната плътност, което при неизменна площ на изходното сечение на соплото би довело до снижаване разхода на въздуха и до нежелателно изменение режима на работа на турбината и компресора. При това режимът на двигателя би се изменил точно по такъв начин, както и при намаляване площта на изходното сечение на соплото при двигател без форсажна камера, т. е. би се увеличила температурата на газовете пред турбината и режимът на работа на компресора би се приближил към границата на помпажа.

За да се запази неизменен режимът на работа на турбината и компресора, обикновено форсажната камера има сопло с променливо сечение *3*, площта на което се увеличава с увеличаване температурата на газовете във форсажната камера.



Фиг. 136. Диаграма на работния процес на ТуРД с форсажна камера в координати p—v

Ако такова сопло е правилно регулирано и оборотите на двигателя остават постоянни, разходът на въздуха през двигателя при включване на форсажа не ще се измени. Ще останат постоянни и другите режимни показатели на турбината и компресора, и специално налягането и температурата на излизащите от турбината газове. Температурата се измерва с термопари *4* (гледай фиг. 135).

На фиг. 136 е изобразена диаграма на цикъла на работа на ТуРД с форсажна камера в координатите p—v. Линията *0—2* изобразява процеса на сгъстяването на въздуха в двигателя; *2—3* — процеса на горенето в основните горивни камери на двигателя; *3—б* процеса на разширяване на газа в турбината. Когато няма форсажна камера, процесът на разширение на газа в реактивното сопло би се изобразил с линията *в—5*. Процесът на горене във форсажната камера протича при леко падащо налягане, подобно на процеса в основните горивни камери на ТуРД, и се изобразява с линията *в—к*. Разширението на газа в реактивното сопло, установено зад форсажната камера, е изобразено с линията *к—5ф*. Защрихованата площ е еквивалентна на увеличението на работата от разширението на газовете в двигателя при включване на форсажната камера. Съответно се увеличава индикаторната работа и работата на цикъла на двигателя.

Да изясним доколко може да бъде увеличена теглителната сила на двигателя от изгаряне на гориво във форсажната камера. При включване на форсажната камера температурата на заприщения газов поток в сечение *к—к* (гледай фиг. 135) съгласно уравнението

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

на енергията ще бъде равна на температурата на заприщения поток зад турбината, $T_к^* = T_в^*$. Пълният напор $p_к^*$ в сечението к—к ще бъде малко по-малък, отколкото пълният напор зад турбината, вследствие на хидравличните загуби в дифузора 1 и стабилизаторите 2.

При впръскване на гориво във форсажната камера неговите пари се възпламеняват (от горящите газове, намиращи се в камерата, или от специален източник за запалване) и изгарят в кислорода, съдържащ се в излизащите от турбината газове. В резултат на това температурата на газовете пред реактивното сопло се увеличава и ще стане равна на $T_{к.ф}^*$. Налягането на заприщения поток пред соплото ще бъде равно на $P_{к.ф}^*$, при това, както показват разчетите, повишаването на температурата на горенето довежда до незначително снижаване на пълния напор, т. е. $p_{к.ф} < p_к$. Обаче тая разлика няма съществено значение и частично се компенсира с ръста на специфичната топлина на газовете при увеличаване на температурата им. Затова при оценка на възможностите за форсиране на двигателя без съществена грешка може да се приеме, че $p_{к.ф}^* = p_к^*$

По такъв начин подаването на гориво във форсажната камера води до увеличаване температурата на газовете пред реактивното сопло при запазване налягането им практически постоянно.

Работата от разширението на газовете в реактивното сопло и съответствуващата й кинетична енергия на реактивната струя при неизменно начално и крайно налягане са пропорционални на началната температура на газовете. Ето защо при форсиране кинетичната енергия на газовете на изхода от реактивното сопло се увеличава пропорционално на увеличаването на абсолютната температура на газовете във форсажната камера. Ако c_5 е скоростта на изтичането на газовете от реактивното сопло при изключена форсажна камера, а $c_{5ф}$ е скоростта на изтичане на газовете при форсиране, то

$$\frac{c_{5ф}^2}{c_5^2} = \frac{T_{к.ф}^*}{T_в^*}. \tag{45}$$

Извличайки квадратен корен от лявата и дясната част на това равенство, ще получим

$$\frac{c_{5ф}}{c_5} = \sqrt{\frac{T_{к.ф}^*}{T_в^*}}. \tag{46}$$

По такъв начин относителното увеличаване на скоростта на изтичането при работа на форсажната камера е равно на квадратен корен от относителното увеличаване на абсолютната температура на газовете пред соплото.

При работа на двигателя на място неговата теглителна сила е равна на

$$P_0 = \frac{G}{g} c_5.$$

Ето защо увеличаването на теглителната сила ще бъде пропорционално на нарастването на скоростта на изтичането, тъй като

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

режимът на работа на компресора и турбината и съответно разходът на въздуха през двигателя трябва да се поддържат неизменни за сметка на изменението на изходната площ на реактивното сопло.

Следователно при работа на място относителното увеличаване на теглителната сила е равно на

$$\frac{P_{0ф}}{P_0}=\sqrt{\frac{T^*_{к\,ф}}{T^*_В}}, \tag{47}$$

т. е. относителното увеличаване на теглителната сила при излитане е пропорционално на квадратния корен от относителното увеличаване на температурата на газовете пред реактивното сопло.

Да допуснем, че температурата на газовете зад турбината е равна на 1000° абс., а температурата на газовете във форсажната камера е 1700° абс. Тогава относителното увеличаване на теглителната сила при работа на място ще бъде

$$\frac{P_{0ф}}{P_0}\sqrt{1{,}7}\approx 1{,}3,$$

т. е. теглителната сила на двигателя ще нарасне с 30%.

Увеличаването на температурата на газовете пред реактивното сопло в полет също така ще доведе до увеличаване скоростта на изтичане на газовете, а следователно и на теглителната сила на двигателя.

Влиянието на форсирането върху теглителната сила на двигателя е прието да се разглежда при постоянна скорост на полета.

В този случай разходът на въздуха при форсиране трябва да се поддържа постоянен, а скоростта на изтичането ще се увеличи в същата степен, както и при работа на двигателя на място. Теглителната сила на двигателя ще бъде равна на

$$P_ф=\frac{G}{g}\left(c_5\sqrt{\frac{T^*_{к.ф}}{T^*_В}}-c\right), \tag{48}$$

където c_5 е скоростта на изтичане на газовете от реактивното сопло на нефорсирания двигател при същата скорост на полета.

От формулата за теглителната сила на нефорсирания двигател (44) следва, че

$$\frac{G}{g}c_5=P+\frac{G}{g}c_0.$$

Като разкрием скобите във формула 48 и поставим в нея значението $\frac{G}{g}c_5$, ще получим

$$P_ф=P\sqrt{\frac{T^*_{к.ф}}{T^*_В}}+\frac{G}{g}c_0\left(\sqrt{\frac{T^*_{к.ф}}{T^*_В}}-1\right). \tag{49}$$

Разделяйки намереното значение на теглителната сила при работа на форсажната камера на теглителната сила при нефорси-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ран двигател, ще намерим относителното увеличаване на теглителната сила при форсиране на двигателя в полет

$$\frac{P_{ф}}{P}=\sqrt{\frac{T^{*}_{к.ф}}{T^{*}_{В}}}+\frac{1}{g}\frac{c_0}{P_{отн}}\left(\sqrt{\frac{T^{*}_{к.ф}}{T^{*}_{В}}}-1\right), \tag{50}$$

където $P_{отн}$ е относителната теглителна сила на нефорсирания двигател.

От формула 50 следва, че увеличаването на теглителната сила при форсиране на двигателя в полет става не пропорционално на квадратния корен от относителното увеличаване на температурата на газовете във форсажната камера, а значително по-силно. При това колкото е по-голяма скоростта на полета, толкова по-голямо е нарастването на теглителната сила на двигателя при едно и също повишаване на температурата на газовете. Така при скорост на полета 300 *м/сек* и при относителна теглителна сила на нефорсирания двигател 40 $\frac{кг}{кг.сек}$ взетото в първия пример повишаване на температурата във форсажната камера ще доведе до увеличаване теглителната сила на двигателя в отношение

$$\frac{P_{ф}}{P}=\sqrt{1{,}7}+\frac{1}{9{,}8}\,\frac{300}{40}(\sqrt{1{,}7}-1)=1{,}53,$$

т. е. теглителната сила на двигателя ще нарастне с 53% (вместо 30% при форсиране на място).

Да разгледаме сега изменението на разхода на гориво при форсиране. Съгласно уравнението за съхранение на енергията количеството топлина, предавана на 1 *кг* газ във форсажната камера при нагряването му от температура $T^{*}_{В}$ до температура $T^{*}_{к.ф}$, е равно на

$$Q=c_p(T^{*}_{к.ф}-T^{*}_{В}),$$

където c_p е средната специфична топлина на газа през време на горене, равна приблизително на 0,3 *кал/кг.град* за температурен интервал 900—1800° абс.

За отделяне на това количество топлина при разход на газове G *кг/сек* във форсажната камера трябва да се подаде количество гориво, равно на

$$G_{г.ф}=3600\frac{QG}{\delta H_u}=3600\frac{c_p(T^{*}_{к.ф}-T^{*}_{В})G}{\delta H_u}\ [кг/час]. \tag{51}$$

Общият разход на гориво в двигателя при форсиране ще се сумира от разхода във форсажната камера $G_{г.ф}$ *кг/час* и разхода в основните горивни камери $G_{г}$ *кг/час*, който е равен на

$$G_{г}=P\,C_{отн},$$

където P и $C_{отн}$ са теглителната сила и относителният разход на гориво при изключена форсажна камера.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Като разделим общия разход на гориво на теглителната сила на двигателя, ще намерим относителния разход на гориво на двигател с форсажна камера

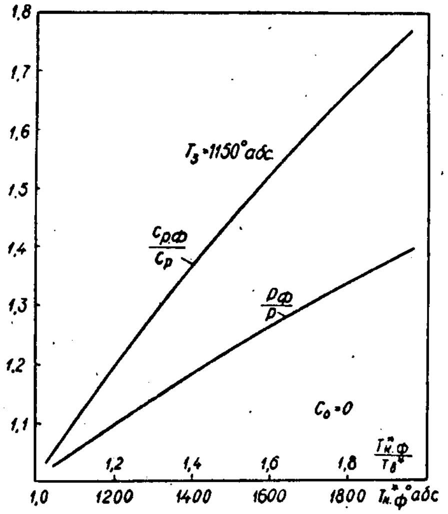
$$C_{\text{отн ф}}=\frac{PC_{\text{отн}}+G_{\text{г.ф}}}{P_{\text{ф}}}=\frac{P}{P_{\text{ф}}}\left(C_{\text{отн}}+\frac{G_{\text{г.ф}}}{P}\right).$$

Заменяйки в тоя израз значението на разхода на гориво във форсажната камера от формула 51, ще получим

$$C_{\text{отн ф}}=\frac{P}{P_{\text{ф}}}\left[C_{\text{отн}}+3600\frac{c_p(T^*_{\text{к.ф}}-T^*_{\text{в}})}{\delta H_u P_{\text{отн}}}\right], \qquad (52)$$

където $P_{\text{отн}}$ е относителната теглителна сила на двигателя при изключена форсажна камера.

На фиг. 137 е дадено относителното увеличаване на теглителната сила и относителния разход на гориво в ТуРД с форсажна камера при работа на стенд в зависимост от температурата на газовете пред реактивното сопло. Тия величини са изчислени по формулите 47 и 52 за двигател със степен на сгъстяване на въздуха $\varepsilon=4$ при температура на газовете пред турбината $T_3=1150^0$ абс. По хоризонталната ос на тоя график са нанесени относителното увеличаване на температурата $\frac{T^*_{\text{к.ф}}}{T^*_{\text{в}}}$ и съответното абсолютно значение на температурата $T^*_{\text{к.ф}}$ при $T^*_{\text{в}}=1000^0$ абс.



Фиг. 137. Зависимост на относителното изменение на теглителната сила и относителния разход на гориво в ТуРД от температурата във форсажната камера

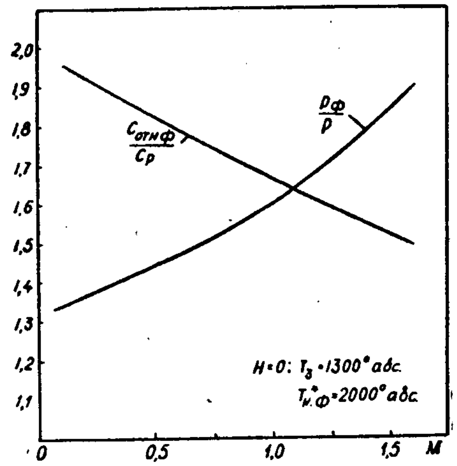
От графика се вижда, че относителният разход на гориво с увеличаване температурата във форсажната камера се увеличава значително по-бързо, отколкото теглителната сила на двигателя. Така например при увеличаване теглителната сила на двигателя с 30% относителният разход на гориво нараства приблизително с 65%. Това се обяснява с факта, че изгарянето на гориво във форсажната камера се осъществява при значително по-ниско налягане, отколкото в основните горивни камери на двигателя (гл. фиг. 136). От термодинамиката е известно, че при намаляване разликата в наляганията в горивната камера и окръжаващата атмосфера, в която става разсейването на топлината на излизащите от двигателя газове, степента на използуването на отделената в камерата топлина се нама-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

лява. Продуктите от изгаряне на горивото, излизайки от реактивното сопло, имат много висока температура и следователно отнасят със себе си много топлинна енергия. Ето защо икономичността на ТуРД при форсирането му чрез изгаряне на гориво зад турбината значително се влошава. Обаче при кратковременно форсиране на двигателя това обстоятелство няма решаващо значение.

Увеличаването на скоростта на полета довежда до нарастване степента на сгъстяване на въздуха в двигателя и съответно нарастване налягането на газовете зад турбината. Благодарение на повишаването на налягането, при което става изгарянето на горивото във форсажната камера, ефективността на използуването на подведената топлина значително се подобрява. Ето защо с увеличаване скоростта на полета относителният прираст на теглителната сила на двигателя при работа на форсажната камера значително се увеличава, а прирастът на относителния разход на гориво чувствително се снижава. На фиг. 138 е показано изменението на относителното увеличаване на теглителната сила и относителния разход на гориво в ТуРД с форсажна камера в зависимост от числото M при полет близо до земята. Изчислението е направено за двигател, който има степен на сгъстяване на въздуха при работа на място равна на $\varepsilon = 6$, при температура пред турбината $T_3 = 1300^0$ абс. и $T_{к.ф} = 2000^0$ абс.



Фиг. 138. **Изменение на относителния прираст на теглителната сила и относителния разход на гориво за ТуРД с форсажна камера от скоростта на полета**

Както се вижда от графика, при работа на място ($M=0$) увеличаването на теглителната сила с $32^0/_0$ се съпровожда при приетите в разчета параметри на двигателя с увеличаване на относителния разход 2 пъти, докато при $M=1{,}5$ теглителната сила нараства с $85^0/_0$, а относителният разход на горивото — само с $52^0/_0$.

Да разгледаме третия способ за форсиране на ТуРД — чрез впръскване на лесно изпаряваща се течност в компресора. При този случай впръскването се осъществява с помощта на форсунки, монтирани на входа на въздуха в компресора. Като лесно изпаряваща се течност може да бъде използувана вода или незамръзваща водоспиртна смес. При изпаряването на впръсканата течност от въздуха се отнема топлина, равна на топлината на парообразуването. Поради това температурата на въздуха в компресора и неговият относителен обем се намаляват, което води към намаляване работата, необходима за сгъстяване на въздуха до дадено налягане. Ако работата, изразхо-

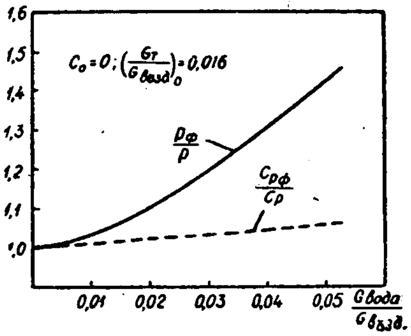
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

двана за сгъстяване на въздуха в компресора, остава постоянна (например при постоянни обороти на двигателя), налягането зад компресора нараства. Съответно нараства и налягането пред турбината.

При запазване постоянна температура на газа пред турбината разликата в налягането пред и зад турбината не се изменя, а налягането зад турбината нараства пропорционално на нарастването на налягането след компресора.

Увеличаването на налягането зад турбината (степента на разширение на газа в реактивното сопло) ще доведе до увеличаване скоростта на изтичането c_5. За увеличаването на скоростта на изтичането способствува в известна степен така също увеличаването на специфичната топлина на изгорелите газове и тяхната работоспособност (при постоянна температура пред турбината), което става вследствие значителното повишаване съдържанието на водни пари в тях. Освен това нарастването на налягането и съответно плътността на газа пред сопловия апарат на турбината довежда до увеличаване разхода на въздух.



Фиг. 139. Зависимост на относителното увеличаване на теглителната сила и относителния разход на гориво от количеството вода, изпаряваща се в компресора при форсиране на ТуРД чрез впръскване на вода

По такъв начин впръскването на вода в компресора довежда до значително увеличаване на теглителната сила на двигателя както за сметка на увеличаване скоростта на изтичането (относителната теглителна сила), така и за сметка на увеличаване разхода на въздуха.

Нарастването на теглителната сила при форсиране на двигателя по разглеждания способ ще се съпровожда не само с разходване на вода или водо-спиртна смес, но и с известно увеличаване на разхода на горивото, необходимо за поддържане постоянна температура на газовете пред турбината. Разходът на гориво се увеличава както от увеличаване разхода на въздуха, така и вследствие понижаване на температурата на изхода от компресора.

На фиг. 139 е показано относителното изменение на теглителната сила и относителния разход на гориво в ТуРД при работа на място в зависимост от количеството вода, изпаряваща се в компресора, при изходна степен на сгъстяване на въздуха (без впръскване на вода) $\varepsilon = 3,9$ и температура пред турбината $T_3 = 1100^0$ абс. По хоризонталната ос на графика е нанесено количеството изпарена вода в части от разхода на въздуха. Както се вижда от графика, форсирането на ТуРД чрез впръскване на вода в компресора дава значителен ефект, но изисква голям разход на течност. Така при форсиране на двигателя с $30^0/_0$ количеството изпарена вода превишава два пъти разхода на гориво в двигателя. В действителност разходът на вода

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ще бъде още по-голям, тъй като значителна част от нея не успява да се изпари в течение на краткото време, през което тя се намира в компресора.

В самолетните резервоари трябва да има необходимият запас вода или друга течност, поради което повишеният ѝ разход при форсиране на двигателите се отразява на далечината и продължителността на полета също така отрицателно, както и повишаването на разхода на основното гориво.

Възможно е форсиране на ТуРД и чрез впръскване на вода непосредствено в горивните камери на двигателя. При впръскване на вода в горивната камера за запазване постоянна температурата на газовете се изисква едновременно увеличаване на количеството на подаваното гориво. При изпаряване на впръсканата течност се образува голямо количество пара, която заменя част от въздуха в газовата турбина, в резултат на което разходът на въздуха през компресора пада. Намаляването на разхода на въздуха през компресора при постоянни обороти довежда към толкова по-интензивно нарастване на налягането зад компресора, колкото по-голям е ъгълът на наклона на кривите на постоянните обороти, нанесени върху характеристиката на компресора. Въпреки намаляването на разхода на въздуха разходът на газовете пред турбината и реактивното сопло ще нарасне за сметка на впръсканата вода и увеличеното гориво. Нарастването на налягането зад компресора (и съответно зад турбината) и увеличаването на разхода на газа довеждат до увеличаване теглителната сила на двигателя. Освен това за увеличаване теглителната сила в тоя случай способствува така също нарастването на топлосъдържанието на продуктите от горенето.

Количеството вода, което може да бъде впръскано в горивната камера, се ограничава поради опасност от попадане на компресора в областта на неустойчиви режими на работа (помпаж) вследствие понижаване разхода на въздуха. Освен това при еднакво количество впръскана вода теглителната сила при впръскване в горивната камера расте значително по-малко, отколкото при впръскване в компресора. Но в експлоатацията впръскването на вода в горивната камера е по-просто, тъй като при това няма опасност от обледеняване или повреждане на лопатките на компресора.

Увеличаването на скоростта на полета оказва благоприятно влияние върху ефективността на всеки от разгледаните методи за форсиране на двигателя. Ето защо с нарастване максималните скорости на полета различните методи на форсиране на двигателите ще получават все по-широко разпространение.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Кандидат по техническите науки
инженер-майор В. Ф. ПАВЛЕНКО

ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ТуРД ПРИ НЕУСТАНОВЕНИ РЕЖИМИ НА РАБОТА*

Авиационният двигател на самолета се експлоатира при различни скорости и височини на полета и при различни обороти на турбо-компресора както на установени, така и на неустановени режими. За оценяване свойствата на двигателя в полет при установени режими на работа се използуват следните характеристики: скоростни, височинни и оборотни (дроселни).

Скоростни характеристики на ТуРД се наричат зависимостите на теглителната сила и относителния разход на горивото от скоростта на полета при дадена височина при постоянни обороти на турбо-компресора (ТК), а **височинни** — зависимостите на теглителната сила и относителния разход на горивото от височината на полета при дадена скорост при постоянни обороти на турбо-компресора. **Оборотни характеристики на ТуРД** се наричат зависимостите на теглителната сила и относителния разход на гориво на ТуРД от оборотите на турбо-компресора при дадена скорост и височина на полета. Всички тези характеристики се разчитат при условие мощностите на турбината и на компресора да бъдат равни.

Обаче през време на експлоатацията двигателят не винаги работи на определена скорост и височина на полета, при някакви напълно определени обороти. Оборотите на турбо-компресора непрекъснато се изменят по време, например в двигателите на водените самолети при полет в строй, при което те се изменят достатъчно бързо и режимите на работа на двигателя не успяват да се установят. Мощността на турбината се оказва по-голяма от мощността на компресора** ($N_т > N_к$) — в този случай става увеличаване на оборотите на ТК, или по-малка ($N_т < N_к$) — тогава оборотите на ТК се намаляват.

При неустановени режими на работа на ТуРД неговите характеристики значително се отличават от характеристиките на ТуРД при установени режими. Поради това използуването на едни характеристики вместо други не винаги е възможно. Така при полет в строй или при изпълнение на фигурно летене, при увеличаване или намаляване на скоростта, влизане във втори кръг и кацане съществуващите характеристики на ТуРД, валидни за установени режими на

* По-долу се използуват характеристиките само на един тип компресор на едноконтурни турбо-реактивни двигатели (ТуРД). Ето защо получените резултати не важат за двигатели с компресори от други типове.

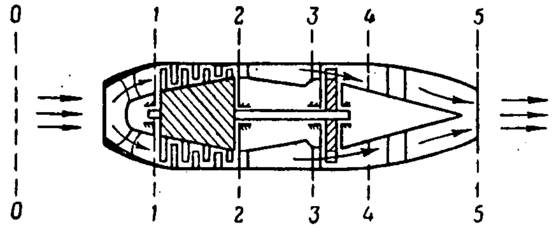
** Под мощност на компресора ще разбираме мощността на самия компресор, на агрегатите на двигателя и мощността, изразходвана за охлаждане.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

работа на двигателя, се оказват непригодни. Ето защо твърде важно е да се знаят методите за разчета на характеристиките на ТуРД при неустановените режими на работа, да се оцени и анализира влиянието на различните параметри (температурата на газовете пред турбината, степента на сгъстяване на въздуха в компресора, к. п. д. и др.), скоростта и височината на полета върху тези характеристики.

Характеристики на ТуРД на неустановени режими ще наричаме зависимостите на теглителната сила и относителния разход на горивото от оборотите на турбо-компресора и от времето, при условие, че мощността на турбината не е равна на мощността на компресора ($N_т \neq N_к$), на различни скорости и височини на полета.



Фиг. 140. Схема на ТуРД и обозначение на неговите сечения: *0—0* — далеч от двигателя (въздухът е несмутен от двигателя); *1—1* — пред входа на въздуха в компресора; *2—2* — на изхода на въздуха от компресора; *3—3* — на входа на газа в турбината; *4—4* — зад турбината; *5—5* — сечение в края на реактивното сопло

При построяване на такива характеристики на ТуРД правим следните допускания. Характеристиките на компресора и турбината на установени и на неустановени режими са еднакви. Коефициентът на отделяне на топлина в горивната камера, а също и коефициентите на загубите на налягане в горивната камера и в реактивното сопло при работа на ТуРД на двата режима са равни.

Най-точен аналитичен метод за построяване характеристиките на ТуРД на двата режима на работа е методът, при който се използуват пълните характеристики на елементите на двигателя (компресора, горивната камера и турбината).

Такъв метод е разработен за построяване характеристиките на ТуРД на установени режими. Обаче неговото приложение е затруднено от това, че не винаги можем да разполагаме с характеристиките на един или друг елемент от двигателя или на всички елементи. Най-често се използуват пълните характеристики на компресора, а характеристиките на горивната камера и турбината се определят приблизително. Тук ние ще се възползуваме от такъв именно метод.

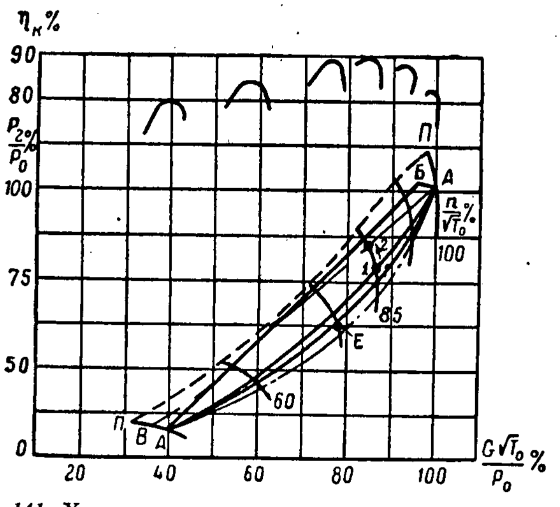
Приемаме по-нататък следните обозначения на сечението на ТуРД (фиг. 140): *0—0* — граница на атмосферния въздух, несмутен от въздействието на двигателя. В това сечение и вляво от него налягането и температурата на въздуха са равни на атмосферните. Сечение *1—1* преминава пред входа на въздуха в компресора; *2—2* — на изхода на въздуха от компресора; *3—3* — на входа на газа в

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

турбината; *4—4* — зад турбината; *5—5* — на изхода от реактивното сопло.

На фиг. 141 е дадена характеристиката на компресора във вид на зависимост на степента на сгъстяване $\frac{p_2}{p_0}$ от параметъра на разхода на въздуха $\frac{G\sqrt{T_0}}{p_0}$ при различни постоянни значения на параметъра на оборотите $\frac{n}{\sqrt{T_0}}$ (върху тази характеристика обикновено се нанасят кривите на постоянните к. п. д.)*.



Фиг. 141. Характеристики на компресора и на съвместните режими на работа на турбината и компресора

Линията *А—А* на фигурата е линия на съвместните режими на работа на турбината и компресора при установени режими на работа на двигателя и при постоянна площ на реактивното сопло. За всяка точка на тази линия е характерно това, че мощността на турбината е равна на мощността на компресора, а ъгловото ускорение на турбокомпресора е равно на нула. Вляво и вдясно от тази линия са неустановените режими на ТуРД (при дадени скорост и височина на полета и при постоянна площ на реактивното сопло).

В тези точки ъгловото ускорение на турбокомпресора не е равно на нула: то е или по-голямо от нула (при увеличаване на оборотите), или по-малко (при намаляване на оборотите).

Линията *П—П* е граница на помпажа. Вляво от нея настъпва неустойчива работа на компресора и рязко влошаване на неговите

* Тук и по-нататък налягането и температурата по дължината на двигателя от сечение *0—0* до *4—4* включително се явяват параметри на заприщения поток.

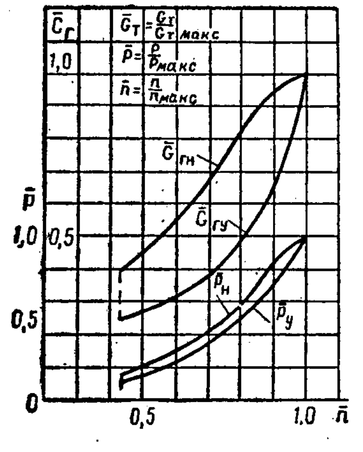
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

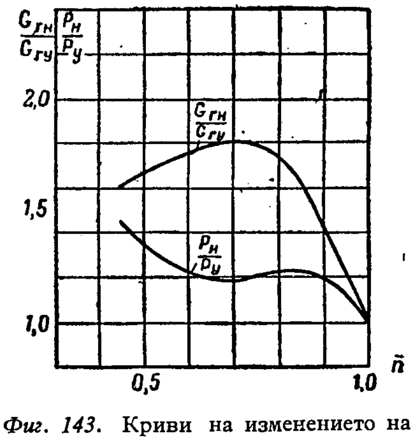
хидравлични качества. Поради това в тая област работата на компресора без прилагане на специални мероприятия е недопустима.

Разполагайки с характеристиките на компресора и турбината, лесно ще намерим линията на съвместната им работа при установени режими, а следователно и теглителната сила, относителния разход на горивото и другите данни на двигателя. Може така също да изчислим и характеристиките на ТуРД на неустановени режими.

За определяне характеристиките на ТуРД при неустановени режими на работа си задаваме зависимостта на степента на сгъстяване на въздуха в компресора $\frac{p_2}{p_0}$ от параметър, пропорционален на разхода на въздуха $\frac{G\sqrt{T_0}}{p_0}$. Кривите, характеризиращи тази зависимост, могат да бъдат най-различни. Обаче те се ограничават отляво с линията на помпажа и максимално допустимата температура на газа пред турбината (увеличаване на оборотите), а вдясно — с линията, която характеризира устойчивостта на процеса на изгарянето при обеднени смеси в горивната камера на ТуРД (намаляване на оборотите).



Фиг. 142. Криви на изменението на теглителната сила и разхода на гориво от оборотите при установени и неустановени режими на работа на ТуРД



Фиг. 143. Криви на изменението на относителните теглителни сили и разхода на гориво в зависимост от относителните обороти на неустановени режими на работа на ТуРД

По-нататък ще разглеждаме характеристиките на ТуРД само при увеличаване на оборотите, тъй като методите за определяне на характеристиките при увеличаване и намаляване на оборотите по принцип не се различават.

Кривите на изменение на теглителната сила и разхода на гориво от оборотите при неустановени и установени режими на рабо-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

та на ТуРД са дадени на фиг. 142. На фиг. 143 са дадени кривите на изменение относителните теглителни сили и разхода на гориво в зависимост от относителните обороти на неустановени режими на работа на ТуРД. Относителни величини на теглителната сила и разхода на гориво са отношенията на теглителната сила и разхода на гориво при неустановени режими към теглителната сила и разхода на гориво при установени режими на ТуРД, а относителни обороти — отношението на текущото значение на оборотите към максималното.

Времето за увеличаване на оборотите на двигателя се определя от равенството на момента на инерционните сили на турбо-компресора (произведението от момента на инерцията на въртящите се маси и ъгловото ускорение), от разликата в моментите на силите, действуващи върху лопатките на турбината и лопатките на компресора:

$$I j_\omega = M_т - M_к,$$

където I — момент на инерцията на турбо-компресора;

j_ω — ъглово ускорение на турбо-компресора;

$M_т$ — момент на силите, действуващи на лопатките на турбината;

$M_к$ — момент на силите, които действуват на лопатките на компресора.

Ъглово ускорение на турбо-компресора (ТК) се нарича изменението на оборотите за единица време, приблизително $j_\omega = \frac{\Delta n}{\Delta t}$, където Δn — интервал на оборотите, Δt — интервал от време, в течение на който оборотите на турбо-компресора се изменят с величината Δn. Следователно за определяне на времето, в течение на което оборотите на ТК се изменят на величината Δn, е необходимо $\frac{1}{j_\omega}$ да се умножи с Δn. За тази цел се построява график за изменението на $\frac{1}{j_\omega}$ от оборотите на ТК. Типичен пример на такъв график е даден на фиг. 144.

Времето за увеличаване оборотите (разгона) на ТуРД условно е обозначено на тази фигура със защрихованата площ. За определяне на величината на тая площ абсцисната ос в интервала от $\bar{n}=0{,}2$ до $\bar{n}=1{,}0$ се разделя на равни части (например $\Delta\bar{n}=0{,}1$). За всеки участък кривата е представена във вид на права и след това се определя площта на трапеца на всеки участък. Времето за увеличаване на оборотите на двигателя от $\bar{n}=0{,}2$ до $\bar{n}=0{,}1$ ще бъде равно на

$$t=\left[\frac{1}{2}\left(\frac{1}{j_\omega}\right)_1+\left(\frac{1}{j_\omega}\right)_2+\left(\frac{1}{j_\omega}\right)_3+\ \ldots\ +\frac{1}{2}\left(\frac{1}{j_\omega}\right)_n\right]\Delta n.$$

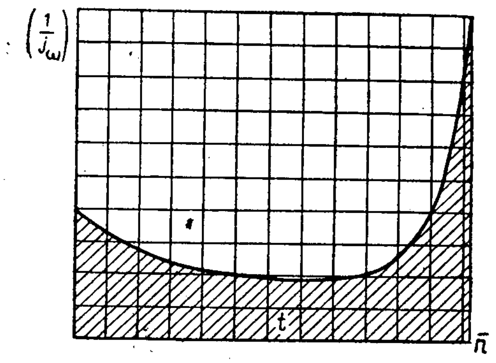
Кривата на изменение на оборотите в зависимост от времето, изчислена по същия способ, е показана на фиг. 145. Имайки кривите на изменението на теглителната сила и разхода на гориво на неу-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

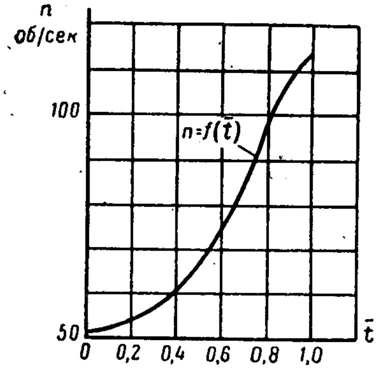
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

становени режими на работа на двигателя в зависимост от оборотите на турбо-компресора (ТК) и кривите на изменение на оборотите на ТК в зависимост от времето, можем да построим графици за изменението на теглителната сила и разхода на гориво в зависимост от времето.

Да разгледаме кривите на изменение теглителната сила и разхода на гориво на неустановени режими, построени по един закон на подаване на гориво в зависимост от оборотите. Те показват, че теглителната сила и разходът на гориво на ТуРД при тези режими значително се различават от теглителната сила и разхода на гориво на същия ТуРД, работещ на установени режими.



Фиг. 144. Изменения на $\frac{1}{j\omega}$ в зависимост от относителните обороти на турбо-компресора на ТуРД



Фиг. 145. Изменение оборотите на турбо-компресора на ТуРД в зависимост от времето

Теглителната сила на ТуРД е с 15—20% по-голяма от теглителната сила на такъв двигател при установени режими на работа (в широк диапазон обороти на ТК), а разходът на горивото — повече от 50—80% (в диапазона на оборотите от малък газ до 85% от максималните обороти на ТК). Най-голямо превишаване на разхода на гориво на неустановени режими в сравнение с установените режими се получава в диапазона 70—75% от максималните обороти. В диапазона от 95% до максималните обороти величината на превишаване разхода на гориво непрекъснато се намалява и на максимални обороти разходът на гориво ще бъде практически еднакъв за двата режима.

Относителният разход на гориво на ТуРД на неустановени режими е по-голям с 20—50% при обороти от малък газ до 85% от максималните обороти. Над 85% от максималните обороти процентът на превишаване на относителния разход непрекъснато се намалява.

Трябва да се отбележи, че приведените цифри за теглителната сила, разхода на гориво и относителния разход на гориво при неустановени режими на работа на ТуРД се изменят при изме-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

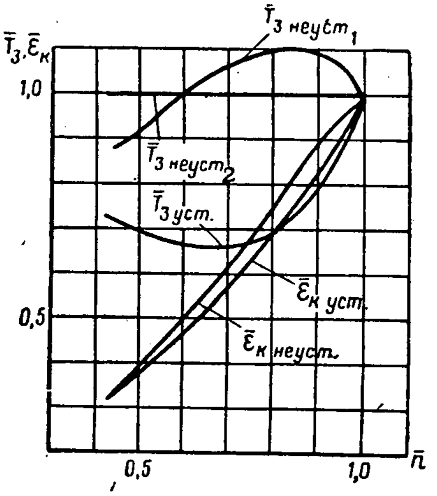
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

нение параметрите на двигателя, закона на подаване гориво в зависимост от оборотите и от условията на работа на двигателя. Тези цифри се отнасят само за процеса на увеличаване оборотите на двигателя. При намаляване на оборотите се наблюдава обратна картина.

Теглителната сила на двигателя се увеличава преди всичко вследствие увеличаване разхода на горивото и предизвиканото от това повишение на температурата на газовете пред турбината в сравнение с установените режими на работа на ТуРД.

Увеличаването на относителния разход на горивото е свързано със създаването на излишна мощност на турбината за увеличаване на оборотите (разгона) на ТК на двигателя и повишаване температурата на газовете пред турбината при сравнително малко увеличаване на степента на сгъстяване на въздуха в компресора.

На фиг. 146 са дадени графици на температурите на газовете пред турбината и степента на сгъстяване на въздуха в компресора в зависимост от оборотите на установени и неустановени режими на ТуРД (при един от законите на подаване на гориво през време на увеличаване на оборотите).



Фиг. 146. **Зависимост на температурата на газовете пред турбината и степента на сгъстяване на въздуха в компресора от оборотите на ТК на ТуРД при установени и неустановени режими**

Графиците показват, че при обороти на ТК, по-малки от максималните, на установени режими температурата на газовете пред турбината е чувствително по-ниска, отколкото на неустановени режими, поради което и относителният разход на горивото е също по-малък. На неустановени режими при незначително увеличаване степента на сгъстяване на въздуха в компресора температурата на газовете пред турбината съществено нараства, което води до увеличаване на теглителната сила и влошаване икономичността на двигателя.

Оттук следва, че продължителната работа на ТуРД при често намаляване и увеличаване на оборотите на двигателя чувствително влошава неговата икономичност, повишава температурните напрежения и вибрационните натоварвания на частите (двигателят работи при твърде висока температура и в области, близки до началото на помпажа).

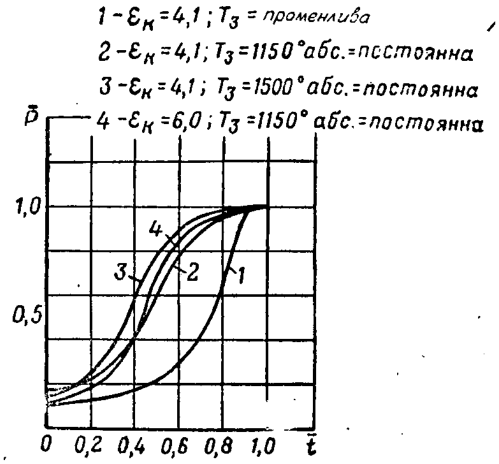
Грамотната експлоатация на ТуРД в полет дава възможност да се намали разходът на горивото през време на увеличаване на оборотите (разгона) на двигателя и да се повиши сигурността на рабо-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

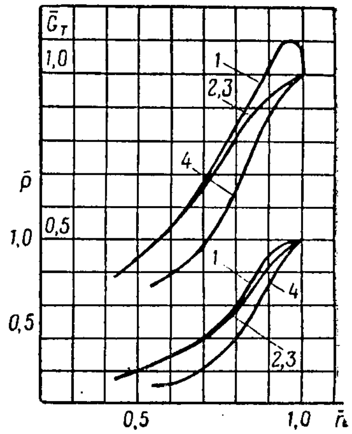
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

тата му. Освен това икономичността и сигурността в работата на ТуРД могат да се повишат чрез прилагане на по-съвършена програма на регулиране на ТуРД на неустановени режими (т. е. при подаване на горивото в зависимост от оборотите и времето да се използува такава закономерност, при която се подобрява работата на ТуРД на неустановени режими).

Влиянието на програмата на регулиране върху характеристиките на ТуРД при неустановени режими е показано на фиг. 147—149. На фигурите са приети следните обозначения:



Фиг. 147. Изменение теглителната сила на ТуРД през време на разгона на турбо-компресора на ТуРД



Фиг. 148. Зависимост на теглителната сила и разхода на гориво от оборотите на турбо-компресора на ТуРД при неустановени режими

Кривата *1* — съответствува на програма за регулиране, при която степента на сгъстяване на въздуха в компресора се изменя пропорционално на изразходвания въздух до своето максимално значение, а при по-нататъшните увеличавания на оборотите степента на сгъстяване на въздуха в компресора остава постоянна и равна на 4,1 (на фиг. 141 неустановените режими са показани с плътната линия *АБА*, а установените — с плътната линия *А1А*). При тази програма на регулиране температурата на газовете пред турбината през време на увеличаването на оборотите на двигателя се изменя.

Кривата *2* — съответствува на програма на регулиране, при която температурата на газовете пред турбината е постоянна и равна на 1150° абс., а степента на сгъстяване на въздуха в компресора на максимален режим е равна на 4,1 (на фиг. 141 неустановените режими са изразени с линията *В2А*, а установените — с линията *А1А*).

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

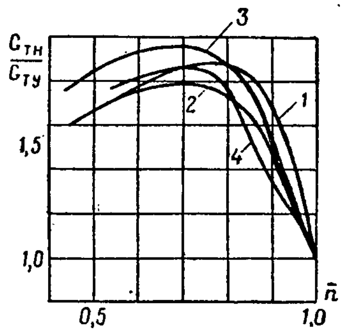
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Кривата 3 — съответствува на програма на регулиране, при която степента на сгъстяване на въздуха в компресора на максимален режим е равна на 4,1, а температурата на газовете пред турбината е постоянна и равна на 1500° абс. (на фиг. 141 неустановените режими са изразени с линията $B2A$, а установените — с линията AA).

Кривата 4 — съответствува на програма на регулиране, при която степента на сгъстяване на въздуха в компресора е равна на 0,6, а температурата на газовете пред турбината е постоянна и равна на 115С° абс. (на фиг. 141 неустановените режими са изразени с линията $B2A$, а установените — с линията AEA).

От това следва, че ние разглеждаме влиянието върху характеристиките на ТуРД при неустановени режими на работа на две програми на регулиране (кривите 1 и 2) и два параметра на работния процес — температурата на газовете пред турбината (кривата 3) и степента на сгъстяване на въздуха в компресора (кривата 4), при програма на регулиране, съответствуваща на постоянна температура на газовете пред турбината през време на разгона на двигателя.

Анализът на резултатите от изчисляването на характеристиките на ТуРД на режими на разгона на двигателя при две различни програми на регулиране показва, че иконимичността на ТуРД при първата програма е по-лоша от икономичността на ТуРД при втората програма. Това е предизвикано преди всичко от рязкото нарастване на разхода на горивото на режимите, съответствуващи на 90—95% от максималните обороти в първия случай.



Фиг. 149. Зависимост на постоянния разход на горивото от относителните обороти на турбо-компресора на ТуРД

Изменението на теглителната сила с изменение на оборотите за двете програми на регулиране е приблизително еднакво, а по време е по-благоприятно при втората програма на регулиране.

На фиг. 146 е показано изменението на температурата на газовете пред турбината в зависимост от оборотите на ТК за приведените програми на регулиране на ТуРД. От фигурата се вижда, че при първата програма на регулиране в широкия диапазон на обороти на ТК температурата на газовете пред турбината е по-висока от температурата, съответствуваща на максималния установен режим. Това се отразява отрицателно върху сигурната работа на двигателя. По такъв начин първата програма е явно неприемлива.

По-целесъобразна е втората програма на регулиране. Обаче и тя води до чувствително влошаване на икономичността на ТуРД при увеличаване на оборотите (разгона) на двигателя. Въпросът за икономичността на ТуРД в полет на неустановени режими трябва да се решава, като се вземат предвид характеристиките на самолета.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Освен избора на програма за регулиране върху характеристиките на ТуРД при неустановени режими на работа съществено влияние оказва и изборът на основните параметри на двигателя (степента на сгъстяване на въздуха в компресора, температурата на газовете пред турбината, к. п. д. на елементите на двигателя, разходът на въздуха), а така също и на другите фактори (скоростта и височината на полета, типа на характеристиките на компресора, горивните камери, турбината и др.).

Да разгледаме влиянието на основните фактори.

Повишаването степента на сгъстяване на въздуха в компресора е един от основните методи за повишаване икономичността на ТуРД. Ето защо твърде важно е да се установи влиянието на този параметър върху характеристиките на ТуРД при неустановени режими на работа.

Изчисленията показват, че при увеличаване степента на сгъстяване на въздуха в компресора протичането на характеристиките на ТуРД на неустановени режими е по-благоприятно.

На фиг. 147 са показани графиците на изменение теглителната сила на ТуРД през време на разгона на двигателя при степен на сгъстяване на въздуха в компресора, равна на 4,6 (съответно кривите *2* и *4*). Моментите на инерцията на въртящите се маси в двата случая са еднакви.

От графиците се вижда, че теглителната сила достига едно и също значение в ТуРД със степен на сгъстяване 6 за време от 8—10% по-малко, отколкото при ТуРД със степен на сгъстяване 4. Икономичността на ТуРД на неустановени режими с по-висока степен на сгъстяване на въздуха в компресора се повишава. Така относителният разход на горивото на ТуРД със степен на сгъстяване 6 в сравнително широк диапазон на оборотите е по-нисък приблизително с 8—9% от относителния разход на горивото на ТуРД със степен на сгъстяване 4 при същите режими.

Отношението на разхода на гориво при неустановени режими към разхода на гориво при установени режими в ТуРД със степен на сгъстяване 6 е по-малко, отколкото в ТуРД със степен на сгъстяване 4 при обороти 90% от максималните и по-малко.

Една от причините за такова протичане на характеристиките на ТуРД на неустановени режими на работа при увеличаване степента на сгъстяване на въздуха в компресора е по-рязкото падане на температурата на газовете пред турбината на ТуРД с голяма степен на сгъстяване при установени режими (фиг. 150). В резултат на това се създава голяма свръхмощност на турбината преди всичко в областите на малките и средни обороти на турбо-компресора. Намаляването на относителния разход на горивото се обуславя от сравнително високите значения на степента на сгъстяване на въздуха в компресора през целия диапазон на оборотите.

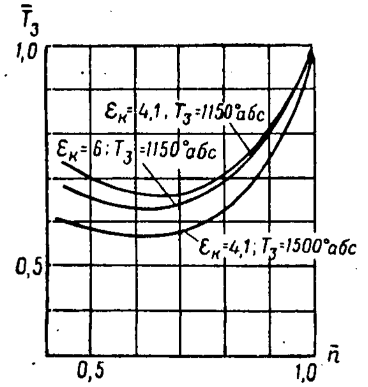
В дадения случай са разгледани характеристиките на ТуРД при отсъствие на специални методи за регулиране на компресора (пропуск на въздух от степените, завъртване на направляващите апарати), което

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

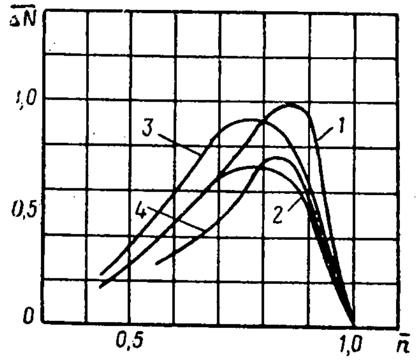
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

при степени на сгъстяване на въздуха в компресора, равни на 4 и 6, могат да се считат за допустими. При по-нататъшното увеличаване на степента на сгъстяване се налагат специални методи за регулиране на компресора. Във връзка с това характеристиките на ТуРД на неустановените режими могат съществено да се изменят.

Повишаването на температурата на газовете пред турбината на ТуРД, както това се вижда от фиг. 147—149, довежда до подобряване протичането на характеристиките на ТуРД на неустановени режими. Теглителната сила на двигателя нараства по време значително по-бързо (крива *3*). Времето за разгона на двигателя до максимални обороти се намалява. Относителният разход на горивото се повишава. Увеличава се също така отношението между разхода на гориво при установените режими и разхода на гориво при неустановените режими при еднакви обороти на ТК.



Фиг. 150. Изменение на относителната температура на газовете пред турбината в зависимост от оборотите на турбо-компресора на ТуРД при установени режими



Фиг. 151. Изменение на излишната мощност на турбината в зависимост от оборотите на турбо-компресора на ТуРД

Такова протичане на характеристиките на ТуРД при увеличаване температурата на газовете пред турбината е обусловено преди всичко от характера на изменение температурата на газовете пред турбината на ТуРД при установени режими в зависимост от оборотите. От фиг. 150 се вижда, че кривата на относителната температура на газовете пред турбината значително по-стръмно пада при намаляване оборотите на ТуРД с по-висока температура на газовете пред турбината T_3 на максимален режим. Следователно има възможност за значително повишаване температурата на газовете на малки и средни обороти, т. е. за получаване на по-голяма разлика на температурите на газовете пред турбината на неустановени и установени режими. Във връзка с това свръхмощността на целия диапазон на обороти на турбо-компресора при ТуРД с $T_3=1500^0$ абс. е прибли-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

зително с 25—30% по-голяма, отколкото в ТуРД, при който температурата на газовете пред турбината е равна на 1150° абс. (фиг. 151). Големите относителни разходи на горивото се обуславят от високите температури на газа пред турбината при малко по-голяма степен на сгъстяване на въздуха в компресора.

Разход на въздуха. Излишната мощност на турбината при неустановени режими на работа на ТуРД е право пропорционална на абсолютното значение на разхода на въздуха:

$$\Delta N = (L_{т}\, a - L_{к}) G_{в}, \qquad (53)$$

където ΔN — излишна мощност на турбината;

$L_{т} a - L_{к}$ — разлика между работата на турбината и компресора;

$G_{в}$ — разход на въздуха при неустановен режим;

a — отношение на разхода на газа към разхода на въздуха.

От тази формула следва, че колкото е по-голям разходът на въздуха, толкова по-голяма ще бъде излишната мощност, а следователно по-малко ще бъде времето за разгона на двигателя. В такъв случай изменението на теглителната сила в зависимост от времето при голям разход на въздух ще бъде най-благоприятно.

Освен разчетното значение на разхода на въздуха съществено влияние върху характеристиките на ТуРД при неустановени режими оказва законът за изменение разхода на въздуха при изменение оборотите на турбо-компресора. При по-полегата крива на изменение разхода на въздуха разгонът на двигателя се подобрява. Това се обуславя от увеличаването на излишната мощност на малки и средни обороти вследствие на по-големия разход на въздуха при неизменно значение $(L_{т}a - L_{к})$ на дадените обороти.

Увеличаване разхода на въздуха може да бъде постигнато чрез увеличаване на диаметъра на двигателя или за сметка на увеличаване производителността на компресора на 1 $м^2$ площ и на пропускателната способност на турбината.

В първия случай се увеличава инерционният момент на въртящите се маси, поради което характеристиките на ТуРД на неустановени режими ще се определят не само от разхода на въздуха, но и от инерционния момент.

Във втория случай инерционният момент на въртящите се маси даже отчасти се намалява, поради което характеристиките на ТуРД при неустановени режими ще бъдат по-благоприятни.

Следователно при анализа на влиянието на разхода на въздуха върху характеристиките на ТуРД при неустановени режими се използува не абсолютното значение на разхода на въздуха, а производителността на компресора, т. е. разходът въздух на 1 $м^2$ площ, описана от лопатките на компресора.

С увеличаване скоростта на полета линията на съвместната работа на турбината и компресора при установени режими на средни и малки приведени обороти се премества вдясно от границата на

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

помпажа. Разходът на въздуха през двигателя с увеличаване скоростта на полета нараства. Във връзка с указаното преместване на линията на съвместната работа на турбината и компресора на установени режими и увеличаването на разхода на въздуха при увеличаване скоростта на полета характеристиките на ТуРД при неустановени режими се подобряват. Теглителната сила в зависимост от времето нараства по-интензивно. Времето за разгона на двигателя се намалява.

При увеличаване височината на полета разходът на въздуха през двигателя се намалява, а точката на съвместната работа на турбината и компресора се приближава към границата на помпажа. Във връзка с това характеристиките на ТуРД при неустановени режими се влошават. Такова влияние на височината на полета е възможно при условие, че оборотите на малкия газ биха останали неизменни. В действителност оборотите на малкия газ с увеличаване на височината нарастват. Ето защо времето за разгона на двигателя на височина ще бъде само малко по-голямо, а понякога и такова, каквото е при земни статически условия.

Анализирайки влиянието на степента на сгъстяване на въздуха в компресора, температурата на газовете пред турбината и разхода на въздуха върху характеристиките на ТуРД при неустановени режими на работа, приемахме, че инерционният момент на въртящите се маси на турбо-компресора остава постоянна величина. В действителност с увеличаване степента на сгъстяване инерционният момент нараства поради увеличаване броя на степените на компресора и турбината. Ако температурата на газовете пред турбината се увеличава (без охлаждане на лопатките), инерционният момент не трябва съществено да се измени, а при охлаждане на лопатките е възможно неговото увеличаване. С увеличаване диаметъра на двигателя инерционният момент нараства. Влиянието на инерционния момент за всеки конкретен случай се отчита по формулата за разгона на двигателя.

Върху характеристиките на ТуРД при неустановени режими влияе също така изменението на к. п. д. на елементите на двигателя (компресора, горивните камери и турбината) през време на разгона на турбо-компресора. Абсолютните значения на к. п. д. на елементите на ТуРД на установени режими практически не влияят върху разгона на двигателя. Това се обяснява с факта, че на установени режими ефективните работи на турбината и компресора независимо от значението на техните к. п. д. ще бъдат равни.

При преминаване към неустановени режими (от точка *1* в точка *2* на фиг. 141) к. п. д. на елементите на ТуРД се изменят, обаче тяхното влияние върху разгона на двигателя е малко. Разгонът на двигателя много повече зависи от типа на компресора и от особеностите на неговите характеристики.

Така при полегато протичане на характеристиките на компресора степента на сгъстяване на въздуха в компресора при неустановени режими на работа практически не се променя в сравнение с установените режими, а разходът на въздуха се намалява чувствително,

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Това довежда до влошаване разгона на ТуРД, тъй като излишната мощност на турбината се намалява пропорционално на намаляването разхода на въздуха (гледай формула 53). Ако кривите, изобразяващи напорните характеристики на компресора, имат по-стръмен вид, при неустановените режими на ТуРД работата на компресора нараства вследствие увеличаването степента на сгъстяване, а разходът на въздуха почти не се намалява. Характеристиките на ТуРД при неустановени режими се подобряват. Времето за разгона на двигателя се намалява.

Върху разгона на ТуРД оказва също така влияние абсолютното значение на оборотите на турбо-компресора, от който започва разгонът на двигателя. Колкото по-големи са оборотите, толкова по-голяма трябва да бъде излишната мощност за увеличаване оборотите с една и съща величина.

Ако началните обороти за разгона на ТуРД се увеличат и се запазят постоянни, мощността, необходима за разгона на двигателя, намалява. Оттук се вижда, че с развитието на авиационните двигатели трябва да се очаква подобряване на тия характеристики. Обаче те и сега могат да се усъвършенствуват чрез правилния избор на програми за регулиране при неустановени режими.

При отсъствие на характеристики на компресора и турбината, например за новопроектирани ТуРД, характеристиките им при неустановени режими могат да бъдат изчислени приблизително. При това се правят следните основни допускания.

Величината $B=\frac{G\sqrt{T_з}}{p_з}$ се допуска, че е пропорционална на приведения разход на газа през турбината и постоянна и еднаква при установени и неустановени режими на ТуРД (при постоянна площ на реактивното сопло). Приема се, че температурата на газовете пред турбината при неустановени режими на работа е постоянна и равна на максимално допустимата температура на газовете пред турбината на установени режими. Приема се, че всички величини при установените режими на работа са известни. Характеристиките на компресора в зависимост от типа му и степента на сгъстяване се приема да се изобразяват във вид на хоризонтални и вертикални прави.

Използувайки тия допускания, изчисляваме необходимите данни за определяне на излишната мощност при различни обороти на ТК, теглителната сила и разхода на горивото при неустановени режими на работа и времето за разгона на двигателя. Изчислението провеждаме в следната последователност. Задаваме си типа на характеристиките на компресора, например във вид на хоризонтални прави, и определяме разхода на въздуха при неустановени режими по формулата

$$G_н = G_у \sqrt{\frac{T_{зу}}{T_{зн}}},$$

където индексът „н" характеризира параметрите при неустановените режими на работа на ТуРД, а индексът „у"—при установените режими.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Налягането на въздуха след компресора при неустановени и установени режими на работа в съответствие с приетите характеристики на компресора е еднакво. Температурата на газовете пред турбината е постоянна и равна на максимално допустимата. По такъв начин може да се определят работата на турбината и компресора при неустановени режими, тяхната разлика и излишната мощност в зависимост от оборотите.

При изчисляване работата на турбината на неустановени режими се счита, че отношението на ефективната работа на турбината към адиабатичната работа на разширяване в турбината и реактивното сопло е еднакво за двата режима при съответствуващите обороти на турбо-компресора.

След като направим изчисленията, построяваме графиците на зависимостта на излишната мощност, теглителната сила и разхода на горивото от оборотите и от величината, обратна на ъгловото ускорение във функция от оборотите, а след това изчисляваме времето за разгона на двигателя, след което построяваме кривите на зависимостта на теглителната сила, оборотите и разхода на горивото от времето за разгона на двигателя.

Ако характеристиките на компресора са зададени във вид на вертикални прави, разходите на въздух при неустановени и установени режими на работа са еднакви ($G_{в.н}=G_{в.у}$). Налягането на въздуха след компресора на неустановени режими се определя по формулата

$$p_{2н}=p_{2у}\sqrt{\frac{T_{3н}}{T_{3у}}}.$$

По-нататък изчислението се прави, както и за предишния случай.

За ориентировъчно изчисляване на времето за разгона на ТК на ТуРД може да се използува формулата

$$t=kI\frac{n^2_{макс}-n^2_{м.г}}{G_{в.макс}}, \qquad (54)$$

където I — инерционен момент на въртящите се маси на ТуРД (*кгм/сек*²);

$n_{макс}$ — максималните обороти на ТК (*об/сек*);

$n_{м.г}$ — обороти на малкия газ (*об/сек*);

$G_{в.макс}$ — разход на въздуха на максимален установен режим на работа на ТуРД (*кг/сек*);

k — постоянен коефициент, равен на 0,022—0,028.

Формула 54 е изведена при условие, че излишната мощност през време на разгона на двигателя е постоянна и равна на средната величина.

В заключение трябва да се отбележи, че знанието на характеристиките на двигателя на неустановени режими на работа дава възможност по-точно да се разчетат полетът в строй, излитането и разгонът на самолетите, преминаването на втори кръг и другите елементи от полета.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

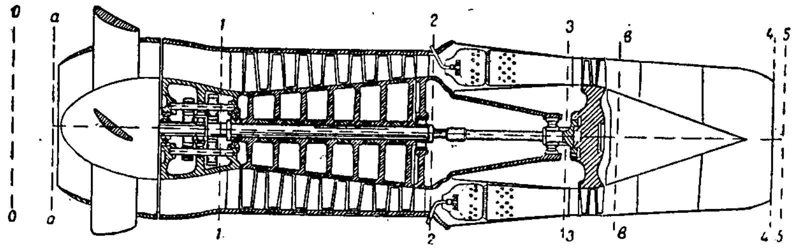
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Професор, доктор по техническите науки
инженер-полковник П. К. КАЗАНДЖАН

ТУРБО-ВИТЛОВИ ДВИГАТЕЛИ

Газотурбинен двигател, турбината на който развива по-голяма мощност, отколкото е необходима за въртенето на компресора, и предава излишната си мощност на въздушно витло, се нарича турбо-витлов двигател (ТВД).

Принципната схема на турбо-витловия двигател е показана на фиг. 152. От фигурата се вижда, че ТВД се състои от същите възли и агрегати, както и ТуРД, но освен това той е снабден с въздушно витло, валът на което се съединява с вала на компресора посредством редуктор. Нуждата от редуктор произтича от това, че роторът на двигателя развива значително по-големи обороти, отколкото са необходими за въздушното витло. Предавателното число от вала на компресора към вала на витлото в съществуващите схеми на ТВД достига до 1:14.



Фиг. 152. Принципна схема на ТВД

Друга особеност на ТВД в сравнение с ТуРД се състои в наличието на многостепенна турбина в ТВД. При еднаква степен на сгъстяване и нагряване на въздуха в ТуРД и ТВД броят на степените на турбината на ТВД винаги е по-голям, отколкото броят на степените на турбината на ТуРД. Това се обяснява с факта, че работата на турбината, а следователно и степента на разширение на газа в турбината на ТВД при тези условия е винаги по-голяма, отколкото в турбината на ТуРД. В съвременните схеми на ТВД броят на степените на турбината достига до 6 и обикновено не бива по-малко от 2.

Създаването на сигурно работеща многостепенна турбина с висок к. п. д., на редуктор с голямо предатъчно число и на въздушно

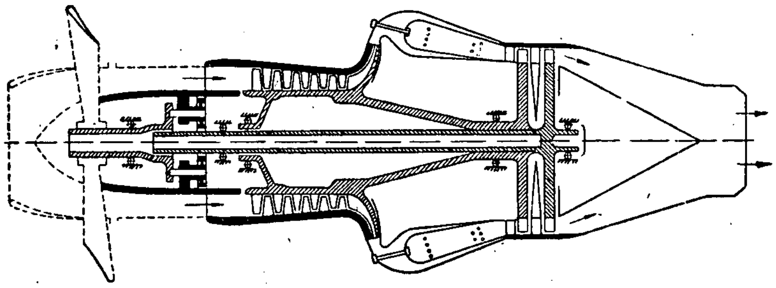
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

витло представлява главната трудност за широкото внедряване в авиацията на турбо-витловите двигатели.

От гледна точка на трансформиране на енергията основното отличие на ТуРД от ТВД се състои в това, че при ТуРД теглителната сила се създава само за сметка на реакцията на газовата струя, преминаваща през двигателя, а при ТВД — главно с помощта на витлото и частично от реакцията на газовата струя.

Създаването на теглителната сила от реакцията на газовата струя е по-ефективно при големи скорости на полета, а с помощта на въздушно витло — при малки и средни скорости на полета. Поради това областите на приложение на тия два типа двигатели в зависимост от скоростта на полета до известна степен се различават. ТуРД имат преимущество при полети с големи скорости, а ТВД — при излитане и полети на малки и средни скорости.



Фиг. 153. Схема на ТВД с отделни турбини

За отбелязване е, че на практика се срещат и други схеми на ТВД. В схемата, показана на фиг. 152, една турбина привежда във въртене компресора и витлото (чрез редуктор). На фиг. 153 компресорът и витлото се привеждат във въртене от различни турв бини. Преимуществото на последната схема се състои в това, че тук се облекчава пускането и се подобрява преходността на двигателя. Това се обяснява с факта, че при пускане и на преходни режими енергията на газа се разходва главно за въртене на първата турбина и поради това компресорът се развъртва по-бързо, което спомага за подобряване на преходността на двигателя.

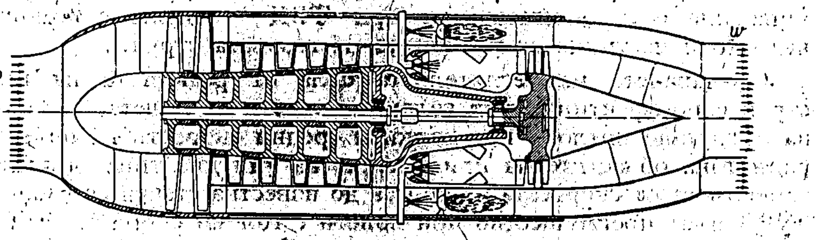
Разновидност на турбо-витловия двигател е двуконтурният двигател, в който излишната мощност на газовата турбина се предава не на въздушно витло, а на вентилатор, поместен в пръстеновиден канал (фиг. 154). Както се вижда от фигурата, вътрешният контур на такъв двигател е осъществен по подобие на вътрешната част на ТВД или на ТуРД, а външният контур, в който е разположен вентилаторът, образува пръстеновиден тунел, обхващащ вътрешния контур.

Вентилаторът, както и витлото, могат да се въртят или от турбината, която служи за въртене на компресора на първия

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

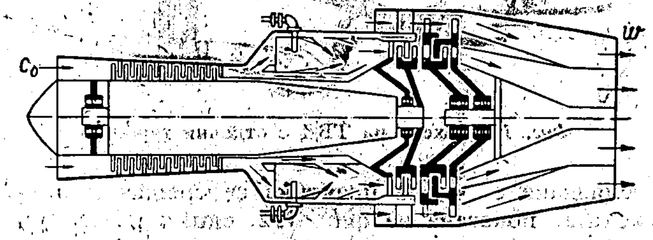
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

(централния) контур, или пък от самостоятелна турбина, разположена зад турбината на компресора (фиг. 155). Конструктивна схема на двуконтурен ВРД най-напред е била разработена от съветския инженер А. М. Люлка в 1937 г. (фиг. 156).



Фиг. 154. Схема на двуконтурен ВРД

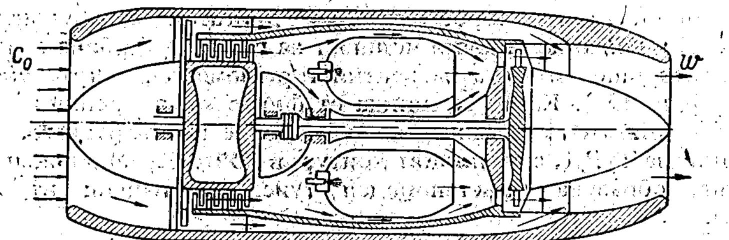
Двуконтурните ВРД засега не са намерили широко приложение. Трябва да се отбележи обаче, че при тунелно разположение вентилаторът ще запази високо значение на к. п. д. до много големи скорости на полета. При нужда двигателят може да се форсира чрез изгаряне на горивото във външния контур. Всички тези пре-



Фиг. 155. Двуконтурен ВРД с вентилатор на втория контур на турбината

имущества откриват възможността да се използува двуконтурният въздушно-реактивен двигател за свръхзвукови скорости на полета.

Работният процес на ТВД в значителна степен напомня работния процес на ТуРД.



Фиг. 156. Схема на двуконтурния ВРД на А. М. Люлка

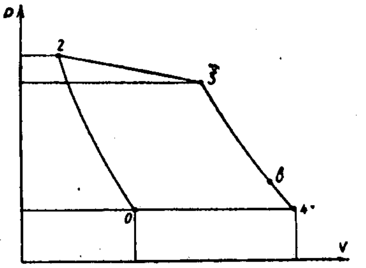
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Скоростният напор на навлизащия в двигателя въздушен поток се преобразува в налягане за сметка на заприщването на въздушната струя на входа в двигателя. Основното сгъстяване на въздуха в ТВД също така, както и в ТуРД, се осъществява посредством компресора, тъй като степента на сгъстяване на въздуха, получена за сметка на използуването на скоростния напор, е незначителна и практически не надминава 1,2—1,3.

За сгъстяване на въздуха в турбо-витловите двигатели имат преимущество осевите компресори. Въздухът от компресора постъпва в горивната камера, където му се предава топлина, получена при изгаряне на горивото. Процесът на изгаряне на горивото в ТВД протича също, както и в ТуРД, при постоянно или незначително намаляване на налягането в горивната камера.

На изхода от горивната камера газовият поток съдържа висока потенциална енергия благодарение на сгъстяването на въздуха в компресора, скоростния напор и подвеждането на топлина в камерата. Целият този газов поток се насочва към турбината. Разширявайки се в турбината, газът извършва работа, която след това се предава на компресора, намиращ се на вала на турбината, и въздушното витло. В турбо-витловите двигатели за разлика от турбо-реактивните разширяването на газа почти напълно се осъществява в турбината. Ето защо налягането на газа зад турбината може да се окаже равно или незначително по-голямо от атмосферното. Често за увеличаване разполагаемата енергия на газа в турбината, а следователно и за увеличаване на мощността, предавана на витлото, налягането на газа зад турбината даже до известна степен се намалява (с 10—12%) в сравнение с налягането на околния въздух.



Фиг. 157. Диаграма на работния процес на ПВД в координатите p—v

В този случай реактивното сопло изпълнява вече ролята на дифузор, в който газовете, излизащи от турбината, за сметка на използуване на кинетичната им енергия се сгъстяват до атмосферното налягане. Освен това увеличаването на топлинното спадане в турбината води до намаляване височината на лопатките в последната степен на турбината.

На фиг. 157 е изобразен термодинамически цикъл на турбо-витлов двигател в координатите p—v. Линията *0—2* изобразява процеса на сгъстяване на въздуха в дифузора и в компресора; линията 2—*3* — процеса на подвеждане топлина в горивната камера; линиите *3—в* и *в—4* съответствуват на процеса разширение на газа в турбината и в реактивното сопло.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Ако съставим уравнение за движението на газовия поток, минаващ през ТВД, подобно на това, което беше направено за ТуРД, ще получим

$$L_e+\frac{c_4^2-c_0^2}{2g}=L_ц, \qquad (55)$$

където L_e е работа, предавана на въздушното витло;
$L_ц$ — работа на действителния цикъл на ТВД;
c_4 — скорост на изтичането на газа от реактивното сопло.

От формула 55 се вижда, че в турбо-витловите двигатели за разлика от ТуРД работата на цикъла се изразходва не само за нарастване на кинетичната енергия на преминаващата през двигателя газова струя, но и за получаване ефективна работа на вала на двигателя.

Ясно е, че при една и съща работа на цикъла $L_ц$ и скорост на полета c_0 могат да се получат различни L_e и c_4, т. е. различно разпределение на работата на цикъла между витлото и скоростната енергия на газа, изтичащ от реактивното сопло. В частен случай при $c_4=c_0$ и $L_ц=L_e$, т. е. работата, получена от реактивната сила, е равна на нула, а работата на цикъла $L_ц$ се изразходва само за получаване работа на вала на витлото.

Когато пък $L_e=0$, $L_ц=\frac{c_4^2-c_0^2}{2g}$, което значи, че двигателят ще работи като турбо-реактивен двигател.

Действителният член на Академията на науките на СССР Б. С. Стечкин в 1945 г. определи, че на всеки режим от полета съответствува оптимално разпределение на работата на цикъла между витлото и скоростната енергия на изтичащия от реактивното сопло газ. От предложената от него формула

$$c_4=\frac{c_0}{\eta_в} \qquad (56)$$

се вижда, че колкото е по-голяма скоростта на полета и по-малък к. п. д. $\eta_в$, толкова по-голяма трябва да бъде скоростта на изтичането на газовете от реактивното сопло c_4, а следователно и работата на реактивната теглителна сила, и толкова по-малка работата, предавана на витлото. С други думи казано, колкото е по-малка скоростта на полета и по-голям к. п. д. на витлото, толкова повече трябва да се натоварва витлото и по-малко от работата на цикъла да се оставя за реакцията и обратно.

Ще се спрем сега на определяне работата на сумарната теглителна сила и сумарната мощност на витлото и реактивната теглителна сила.

Излишната работа на турбината L_e (свръхпотребната за компресора работа), както вече установихме, се предава на въздушното

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

уктор. Отчитайки механическия к. п. д. на редуктора ще получим работата $L_в$, която се предава на витлото ла на витлото):

$$L_в = L_e \eta_m. \tag{57}$$

теглителната сила на витлото е равна на произвеботата на вала на витлото и к. п. д. на витлото, т. е.

$$L_{т.в} = L_в \eta_в. \tag{58}$$

е до работата на теглителната сила от реакцията, тя, ТуРД, се определя по формулата

$$L_{т.р} = c_0 P_{отн} = c_0 = \frac{c_4 - c_0}{g}. \tag{59}$$

Сумарната работа на теглителната сила на ТВД ще бъде равна:

$$L_т = L_{т.в} + L_{т.р} \tag{60}$$

или

$$L_т = L_в \eta_в + c_0 \frac{c_4 + c_0}{g}. \tag{61}$$

Да преминем към определяне на сумарната мощност на витлото и реактивната теглителна сила.

При определяне работата на теглителната сила на витлото работата на вала на витлото $L_в$ трябва да се умножи на к. п. д. на витлото, а за да се получи работата на вала на витлото, трябва работата на теглителната сила да се раздели на к. п. д. на витлото.

Тази работа обикновено се нарича еквивалентна работа и се обозначава с буквата $L_{екв}$. Очевидно е, че еквивалентната работа може да се определи по формулата

$$L_{екв} = L_в + \frac{c_0(c_4 - c_0)}{g \eta_в}, \tag{62}$$

а съответствуващата ѝ еквивалентна мощност — по формулата

$$N_{екв} = \frac{L_{екв} G}{75} = \frac{G}{75}\left[L_в + \frac{c_0(c_4 - c_0)}{g \eta_в}\right]. \tag{63}$$

Необходимо е да се отбележи, че думата „еквивалентна" се отнася преди всичко към втория член на дясната част от формула 63. Действително, ако мощността на реактивната теглителна сила е равна на $\frac{G}{g} \frac{c_0(c_4 - c_0)}{g}$, еквивалентната ѝ мощност на вала на витлото трябва да е равна на $\frac{G}{g} \frac{c_0(c_4 - c_0)}{g \eta_в}$.

Еквивалентната мощност може да се определи по формула 63 при всяка скорост на полета освен при $c_0 = 0$, тъй като при това к. п. д. на витлото също е равен на нула и се получава неопределеност.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

При работа на двигателя на място мощността на вала на витлото и теглителната сила на витлото, а също и реактивната теглителна сила не са равни на нула. Обаче мощността на постъпателното движение при това е равна на нула, тъй като няма движение.

В турбо-витловите двигатели, както вече се каза, теглителната сила се създава главно от въздушното витло. Поради това голям интерес представлява определянето на мощността на витлото при работа на двигателя на място. Но освен това се получава и известна реактивна теглителна сила, която също така трябва да се има предвид. При това упоменатите величини трябва да се оценят не само отделно, но и общо.

За определяне на общата еквивалентна мощност на двигателя при работата му на място се постъпва така: измерва се мощността на втулката на витлото N_e' и реактивната теглителна сила P_p'. Мощността на витлото може да се измери с тензиометър или с хидроспирачка, съединена с вала на витлото (при снето витло), а реактивната теглителна сила се измерва чрез измерване разхода на въздуха G', преминаващ през двигателя, и скоростта на изтичащите газове от реактивното сопло c'_4. Тогава

$$P_p' = \frac{G'}{g} c_4'.$$

Прието е да се счита, че при работа на витловия двигател на място 1 *к. с.* приблизително е еквивалентна на 1,1 *кг* теглителна сила. Въз основа на това сумарната еквивалентна мощност на двигателя $N'_{екв}$ при работата му на стенда се намира от съотношението

$$N'_{екв} = N'_в + 0{,}9\,P'_p, \tag{64}$$

а еквивалентната работа по формулата

$$L_{екв} = L'_в + \frac{0{,}9.75}{g} c_4. \tag{65}$$

Не следва да се мисли, че във формулата (64) не е спазена размерността. Размерността при привеждане на теглителната сила в мощност се отчита с коефициента 0,9. Така например, ако при изпитанието на двигателя е измерена $N'_в = 5000$ *к. с.* и $P'_p = 500$ *кг*, еквивалентната мощност на двигателя е равна

$$N'_{екв} = 5000 + 0{,}9.500 = 5450 \text{ к. с.}$$

Освен еквивалентната мощност и работата ще ни интересува също така и относителният разход на гориво. Под относителен разход на гориво обикновено се разбира отношението на часовия разход на гориво към еквивалентната мощност

$$C_e = \frac{G_{т.час}}{N_{екв}}, \tag{66}$$

където $G_{т.час}$ е часовият разход на горивото.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

При работа на двигателя на място мощността на вал. теглителната сила на витлото, а също и реактивната тег. не са равни на нула. Обаче мощността на постъпателнот. при това е равна на нула, тъй като няма движение.

В турбо-витловите двигатели, както вече се каза, т. ната сила се създава главно от въздушното витло. Порад. голям интерес представлява определянето на мощността на в. при работа на двигателя на място. Но освен това се получа. известна реактивна теглителна сила, която също така трябва да има предвид. При това упоменатите величини трябва да се оцен. не само отделно, но и общо.

За определяне на общата еквивалентна мощност на двигателя при работата му на място се постъпва така: измерва се мощността на втулката на витлото N_e' и реактивната теглителна сила P_p'. Мощността на витлото може да се измери с тензиометър или с хидроспирачка, съединена с вала на витлото (при снето витло), а реактивната теглителна сила се измерва чрез измерване разхода на въздуха G', преминаващ през двигателя, и скоростта на изтичащите газове от реактивното сопло c'_4. Тогава

$$P_p' = \frac{G'}{g} c_4'.$$

Прието е да се счита, че при работа на витловия двигател на място 1 *к. с.* приблизително е еквивалентна на 1,1 *кг* теглителна сила. Въз основа на това сумарната еквивалентна мощност на двигателя $N'_{екв}$ при работата му на стенда се намира от съотношението

$$N'_{екв} = N'_в + 0{,}9\, P'_p, \qquad (64)$$

а еквивалентната работа по формулата

$$L_{екв} = L'_в + \frac{0{,}9.75}{g} c_4. \qquad (65)$$

Не следва да се мисли, че във формулата (64) не е спазена размерността. Размерността при привеждане на теглителната сила в мощност се отчита с коефициента 0,9. Така например, ако при изпитанието на двигателя е измерена $N'_в = 5000$ *к. с.* и $P'_p = 500$ *кг*, еквивалентната мощност на двигателя е равна

$$N'_{екв} = 5000 + 0{,}9.500 = 5450 \text{ к. с.}$$

Освен еквивалентната мощност и работата ще ни интересува също така и относителният разход на гориво. Под относителен разход на гориво обикновено се разбира отношението на часовия разход на гориво към еквивалентната мощност

$$C_e = \frac{G_{т.час}}{N_{екв}}, \qquad (66)$$

където $G_{т.час}$ е часовият разход на горивото.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

При съвременните ТВД относителният разход на гориво при работа на номинален режим на място при стандартни атмосферни условия се равнява приблизително на 0,26—0,30 *кг/к. с. час*. Снижението на относителния разход на гориво, т. е. подобряването на икономичността на ТВД, е една от основните задачи, стоящи пред конструкторите.

Подобряване икономичността на ТВД може да се получи главно чрез увеличаване степента на сгъстяване и степента на загряване на въздуха и чрез подобряване хидравликата на вътрешните части на двигателя. Освен това икономичността на турбо-витловия двигател може да се подобри, ако се използува топлината на излизащите газове.

Подобряването на икономичността и създаването на сигурно работещ турбо-витлов двигател позволяват тоя тип двигател да бъде използуван и за транспортни самолети за далечно действие.

Трябва да се има предвид, че относителният разход на гориво в ТВД с увеличаване скоростта и височината на полета значително пада, поради което турбо-витловите двигатели в сравнение с буталните са по-изгодни не само по отношение на теглото и размерите, но и по отношение на икономичността.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Професор, доктор по техническите науки
инженер-полковник П. К. КАЗАНДЖАН

ЗАВИСИМОСТ НА РАБОТАТА И ОТНОСИТЕЛНИЯ РАЗХОД НА ГОРИВО НА ТВД ОТ СТЕПЕНТА НА СГЪСТЯВАНЕ И ОТ ТЕМПЕРАТУРАТА НА ГАЗА ПРЕД ТУРБИНАТА

Да определим какви термодинамически параметри (степен на сгъстяване и температура на газа) трябва да се изберат при проектиране на турбо-витлов двигател и да изясним как тези основни параметри влияят върху характеристиките на ТВД.

От степента на сгъстяване на въздуха и от температурата на газа пред турбината зависят теглото, размерите и икономичността на двигателя. За да се подобрят основните данни на ТВД, необходимо е да се повиши работата, получена от 1 *кг* въздух, протичащ през двигателя, и да се намали относителният разход на гориво. Увеличаването на работата и намаляването на относителния разход на гориво позволяват да се увеличат скоростта и далечината на полета на самолета.

Работата, която се пада на 1 *кг* въздух (еквивалентната работа), и относителният разход на гориво се определят по следните елементарни формули (гледай формулите 62 и 66):

$$L_{\text{екв}} = L_{\text{в}} + \frac{c\,(c_4 - c_0)}{g\eta_{\text{в}}},$$

$$C_e = \frac{G_{\text{т.час}}}{N_{\text{екв}}} = \frac{3600\,G_{\text{т}}}{L_{\text{екв}}G}\,75.$$

Може да се докаже, че работата $L_{\text{екв}}$ и относителният разход на гориво зависят от степента на сгъстяване на въздуха, от температурата на газа пред турбината, а така също и от коефициентите на полезното действие на процесите сгъстяване и разширяване $\eta_{\text{с}}$ и $\eta_{\text{р}}$, т. е. $L_{\text{екв}}$ и C_e се явяват функция на споменатите параметри ε, T_3, $\eta_{\text{с}}$, $\eta_{\text{р}}$. Математически такава функционална зависимост може да се представи в следния вид:

$$L_{\text{екв}} = f(\varepsilon,\ T_3,\ \eta_{\text{с}},\ \eta_{\text{р}}),$$

$$C_e = f(\varepsilon,\ T_3,\ \eta_{\text{с}},\ \eta_{\text{р}}),$$

където коефициентите на полезното действие $\eta_{\text{с}}$ и $\eta_{\text{р}}$, както и при разчетите на ТуРД, отчитат хидравличните загуби в двигателя.

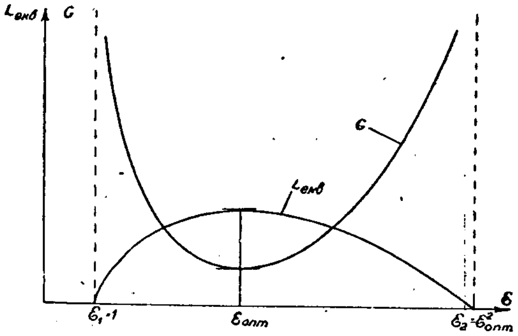
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Освен от тези параметри работата и относителният разход на горивото зависят от скоростта и височината на полета. За простота ще считаме скоростта и височината на полета постоянни.

Да определим зависимостта на работата и относителния разход на горивото от всеки от указаните параметри по отделно. Подобен анализ позволява да се изясни в каква степен изборът на едни или други изходни величини влияе върху основните данни на ТВД.

Влияние на степента на сгъстяване на въздуха $\varepsilon=\frac{p_2}{p_0}$ **върху работата** $L_{екв}$ при постоянни значения на T_3, η_c, η_p, т. е. при условие, че с изменение степента на сгъстяването на въздуха хидравликата на вътрешните части на двигателя не се изменя и температурата на газа пред турбината остава постоянна. Разбира се, всички



Фиг. 158. График на зависимостта на еквивалентната работа и разхода на въздух от степента на сгъстяването при постоянна температура η_p и η_c

тези условия напълно може да бъдат осъществени. Използувайки дадените формули, можем графически да представим зависимостта на еквивалентната работа от степента на сгъстяване. На фиг. 158 е показан приблизителният характер на изменение на еквивалентната работа в зависимост от степента на сгъстяване при постоянна температура на газа пред турбината и постоянни значения на η_c и η_p.

Ако степента на сгъстяване на въздуха е равна на единица ($\varepsilon_1=1$), работата на ТВД се равнява на нула. С увеличаването на степента на сгъстяване работата отначало расте, а след това, достигайки максимално значение, започва да намалява и достига до нула. Степента на сгъстяване, при която еквивалентната работа $L_{екв}$ достига максималното си значение, се нарича оптимална и се означава с $\varepsilon_{опт}$. С ε_2 ще обозначим степента на сгъстяване на въздуха, при която работата втори път става равна на нула. Зависимостта на работата от степента на сгъстяване, изобразена на фиг. 158, ще обясним от физична гледна точка.

Когато $\varepsilon_1=1$, работата е равна на нула (гледай фиг. 158), тъй като при $\varepsilon_1=\frac{p_2}{p_0}=1$, $p_2=p_0$, т. е. няма сгъстяване. С увеличаване

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

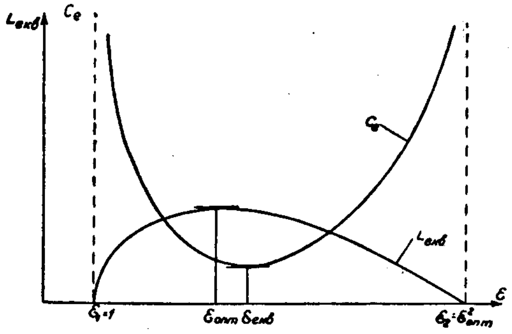
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

степента на сгъстяване температурата на въздуха след компресора нараства. При много големи степени на сгъстяване температурата на въздуха нараства дотолкова, че може да стане равна на допустимата температура на газа пред турбината. В тези случаи в двигателя не може повече да се подвежда топлина и поради това работата става равна на нула.

Аналогично положение имахме при разглеждане на ТуРД. Очевидно е, че най-малък разход на въздух при ТВД при дадена мощност може да се получи в този случай, когато степента на сгъстяване бъде оптимална ($L_{екв}$ достига своя максимум). Действително, тъй като еквивалентната мощност

$$N_{екв}=\frac{L_{екв}\,G}{75}, \tag{67}$$

то при $N_{екв}=\text{const}$ най-малък разход на въздух ще има в този двигател, в който работата на 1 *кг* въздух е максимална. Зависимостта на изменението на разхода на въздуха от степента на сгъстяване е показана на фиг. 159. От тази фигура се вижда, че при $\varepsilon=\varepsilon_1=1$ и при $\varepsilon=\varepsilon_2$ разходът на въздуха се стреми към безкрайност. Фи-



Фиг. 159. График на изменението на относителния разход на горивото и еквивалентната работа от степента на сгъстяване

зическото обяснение на това е, че при указаните степени на сгъстяване работата се стреми към нула и е нужен твърде голям разход на въздуха, за да се получи дадената мощност. Това положение непосредствено се вижда от формула 67.

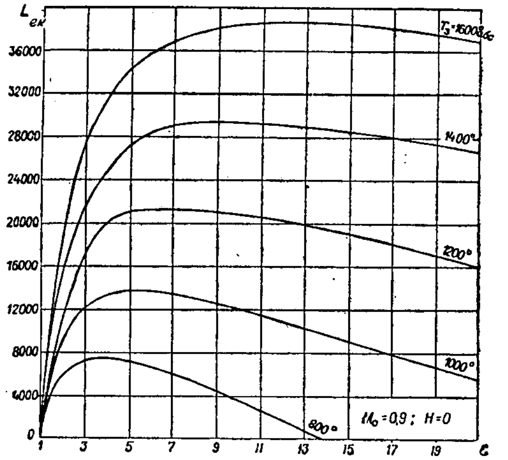
Тъй като челната площ на двигателя зависи от разхода на въздух, може да се направи извод, че при оптимална степен на сгъстяване или, което е все същото, при максимална $L_{екв}$ се получава минимална челна площ. Последният фактор е един от основните при оценяване на летателно-тактическите характеристики на турбовитловия двигател.

Но за да може по-обективно да се дойде до избор на степента на сгъстяване на въздуха, необходимо е да се проследи как зависи

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

относителният разход на горивото от степента на сгъстяване, тъй като нас ни интересува не само челната площ на двигателя, но и неговата икономичност. Приблизителното изменение на относителния разход на горивото в зависимост от степента на неговото сгъстяване е показано на фиг. 159. На тази фигура за сравнение е дадена зависимостта на изменението на еквивалентната работа от степента на сгъстяване. От тази зависимост се вижда, че минималният относителен разход на горивото се получава при степен на сгъстяване, превишаваща оптималната, съответстваща на максималната работа. Аналогична картина наблюдавахме и при разглеждане на турбореактивния двигател: при него икономичната степен на сгъстяване $\varepsilon_{ек}$ беше значително по-голяма от оптималната $\varepsilon_{опт}$.



Фиг. 160. График на зависимостта на еквивалентната работа от степента на сгъстяване при различни значения на температурата пред турбината, при $H=0$ и $M_0=0$

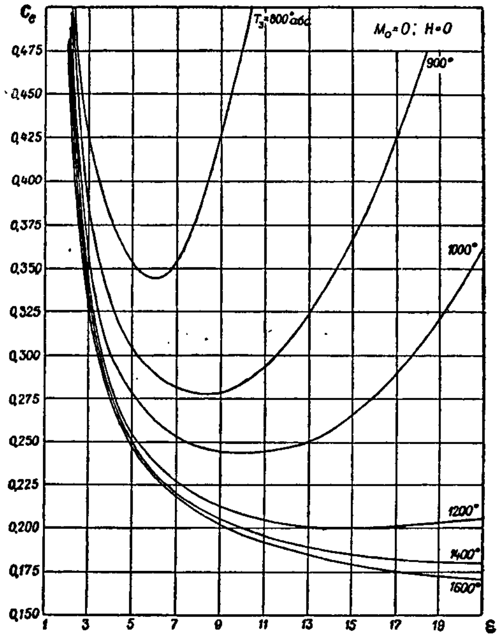
Влияние на температурата на газа пред турбината върху еквивалентната работа и относителния разход на горивото. Увеличаването на температурата на газа пред турбината довежда до увеличаване работоспособността на 1 *кг* въздух, а също така до намаляване относителния разход на горивото. С увеличаване на температурата на газа пред турбината при равни други условия еквивалентната работа се увеличава, а относителният разход на гориво намалява.

За да можем по-добре да си представим по какъв начин степента на сгъстяване и температурата на газа пред турбината влияят върху основните показатели на ТВД, ще разгледаме фиг. 160—165. На тях са дадени зависимостите на работата и относителния разход на гориво от степента на сгъстяване при различни температури на газа пред турбината, от скоростта и от височината на полета. Така

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

зависимостите на еквивалентната работа и относителния разход на гориво от степента на сгъстяване при различни температури на газа пред турбината, когато скоростта (или числото M_0) и височината на полета са равни на нула, т. е. $H=0$ и $M_0=0$, са изобразени на графиците (фиг. 160 и 161), построени при $\eta_c=0{,}85$ и $\eta_p=0{,}9$. Както се вижда от графиците, при ТВД за разлика от ТуРД увеличаването на температурата на газа пред турбината (независимо от избраната степен на сгъстяване) води до намаляване на относителния разход на горивото, т. е. до подобряване икономичността на двигателя.



Фиг. 161. График на зависимостта на относителния разход на гориво от степента на сгъстяване при различни значения на температурата, при $H=0$ и $M_0=0$

Особено подобряване на икономичността на ТВД се наблюдава при едновременното увеличаване температурата на газа пред турбината и степента на сгъстяване на въздуха в двигателя. Така например при $\varepsilon=10$ и $T_3=1400°$ абс. $C_e=0{,}200$ *кг. к с. час* (гледай фиг. 161), което е много по-добро, отколкото в съвременните бутални авиодвигатели. Освен това увеличаването на температурата на газовете пред турбината довежда до чувствително увеличаване на еквивалентната работа, а следователно при дадена мощност до намаляване разхода на въздуха, а също и свързаните с него тегло и размери на двигателя. Така например с увеличаване на T_3 от 1000 до 1600° абс.

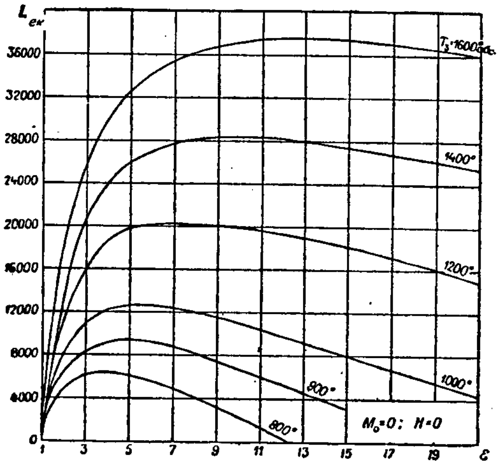
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

(при $\varepsilon=10$) еквивалентната работа се увеличава от 11 000 до 38 500 *кгм/кг* (гледай фиг. 160), т. е. 3,5 пъти.

По такъв начин при ТВД, ако якостта на използувания материал позволява или ако е възможно осъществяването на сигурно охлаждане на лопатките на турбината, увеличаването на температурата на газовете пред турбината е целесъобразно, тъй.като това води до повишаване на икономичността, а също и до подобряване тегловните данни и размерите на двигателя.

Зависимостта на еквивалентната работа и относителния разход на гориво от степента на сгъстяване при различни значения на температурата на газовете пред турбината, при $H=0$ и $M_0=0{,}9$ са представени на фиг. 162 и 163, а на фиг. 164 и 165 са изобразени зависимостите на еквивалентната работа и относителния разход на гориво от степента на сгъстяване при различни значения на T_3, при $H=11$ *км* и $M_0=0{,}9$.



Фиг. 162. **График на зависимостта на еквивалентната работа от степента на сгъстяване при различни значения на температурата, при $H=0$ и $M_0=0{,}9$**

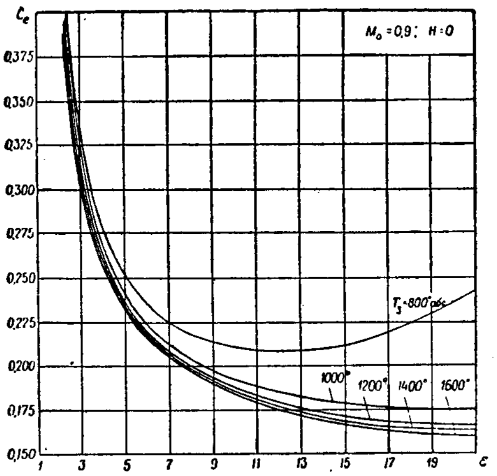
Съпоставянето на тези графици позволява да се оцени влиянието на числото M_0 и височината на полета върху еквивалентната работа и относителния разход на горивото.

Трябва да се отбележи, че освен от повишаване степента на сгъстяване и температурата на газа пред турбината, а така също и к. п. д. на сгъстяването и разширяването, икономичността на турбовитловия двигател може да се повиши и за сметка на регенерацията на топлината.

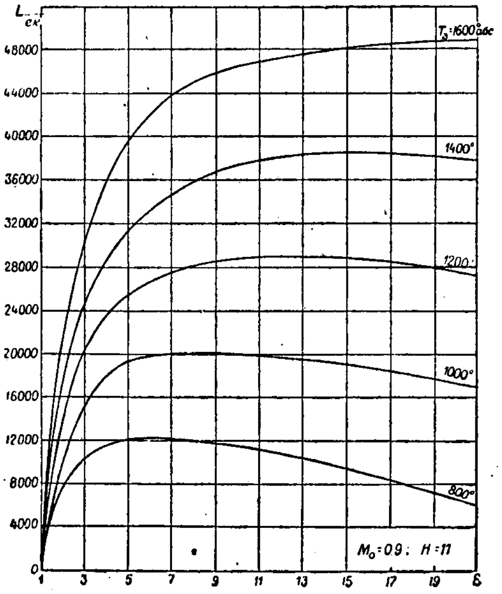
В ТВД за регенериране на топлината излизащите газове се отправят в специален топлообменник (регенератор), разположен непосредствено зад турбината. Там те отдават част от топлината си на

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6



Фиг. 163. График на зависимостта на относителния разход на гориво при различни значения на температурата, при $H=0$ и $M_0=0,9$



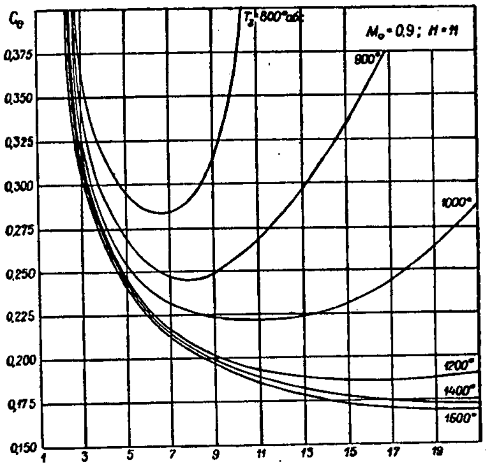
Фиг. 164. График на зависимостта на еквивалентната работа от степента на сгъстяване при различни значения на температурата, при $H=11$ *км* и $M_0=0,9$

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

сгъстения въздух, постъпващ от компресора в горивната камера. Газовете при преминаването през регенератора се охлаждат. Принципът на действие на регенератора по нищо не се отличава от принципа на действие на обикновения радиатор. Тъй като преминаващият през регенератора въздух получава известно количество топлина от излизащите газове, количеството топлина, съобщавана на въздуха в горивната камера, съответно се намалява.

Ето защо при рационален избор на основните параметри това обстоятелство може да доведе до подобряване на икономичността на турбо-витловия двигател. Теорията на регенераторния цикъл е подробно разработена в трудовете на проф. В. В. Уваров още в 1935 година, а по-късно и в трудовете на проф. И. И. Кулагин и на други съветски учени.



Фиг. 165. График на зависимостта на относителния разход на гориво от степента на сгъстяване при различни значения на температурата, при $H=11$ *км* и $M_0=0,9$

При монтирането на регенератор трябва да се отчита нарастването на хидравличните съпротивления, тъй като прекомерното падане на налягането в регенератора може да сведе към нула всяко увеличаване на к. п. д., получено от регенерацията. Освен това трябва да се отчита нарастването на теглото на двигателя за сметка на теглото на регенератора.

В някои случаи теглото на регенератора може да се окаже съизмеримо с теглото на двигателя без регенератора. Обаче при изменение на конструкцията на регенератора може да се получи значително увеличаване на к. п. д. на турбо-витловия двигател.

Трябва да се каже, че оптималните параметри на двигател с регенератор по икономичност се отличават от оптималните параметри на двигател без регенератор. Икономическата степен на сгъстяване на двигател с регенератор при равни други условия се оказва значително по-малка.

Засега най-голям интерес представлява ТВД без регенератор. Тактико-техническите данни на такива ТВД, както вече се каза, може значително да се подобрят, като се използват високотемпературни двигатели. Върху това обстоятелство пръв обърна внимание още преди повече от двадесет години съветският учен проф. В. В. Уваров.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Професор, доктор по техническите науки
инженер-полковник П. К. КАЗАНДЖАН

ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ТУРБО-ВИТЛОВИЯ ДВИГАТЕЛ

Под характеристики на турбо-витловия двигател обикновено се разбира зависимостите на еквивалентната мощност (или мощността на витлото и реактивната теглителна сила) и относителния разход на гориво от оборотите, скоростта и височината на полета.

В съответствие с това обикновено се различават три вида характеристики.

1. Характеристики на ТВД в зависимост от оборотите. Математически тази зависимост може да се представи в следния вид:

$$N_{екв}=f(n),$$
$$C_e=f(n).$$

При това се счита, че скоростта и височината на полета остават постоянни.

2. Характеристики на ТВД в зависимост от скоростта на полета (скоростни характеристики):

$$N_{екв}=f_1(c_0),$$
$$C_e=f_1(c_0).$$

При това се приема, че оборотите и височината на полета не се изменят, т. е. n=const и H=const.

Скоростните характеристики се построяват за различни височини и обороти.

3. Характеристики на ТВД в зависимост от височината на полета (височинни характеристики):

$$N_{екв}=f_2(H),$$
$$C_e=f_2(H).$$

Такива характеристики се построяват, като се приема, че скоростта на полета и оборотите на двигателя остават постоянни, т. е. c_0=const и n=const. Височинни характеристики на ТВД се построяват при различни скорости на полета и различни обороти.

Споменатите характеристики на ТВД могат да бъдат построени както теоретически, така и експериментално. Най-правилен способ за построяване на характеристиките е експерименталният, който позволява по-точно да се определят всички неизвестни вели-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

чини. Обаче експерименталното определяне на характеристиките на ТВД е свързано с големи трудности. Така например за построяване на летателните (скоростни и височинни) характеристики е необходимо да има или летяща лаборатория, в която не така лесно и правилно се измерват различните величини, или пък специално оборудвана, скъпо струваща височинна установка. Най-после, експерименталните характеристики могат да се построят само за съществуващ двигател. На практика обаче често се налага да се знаят предварително характеристиките на проектирвания двигател.

По теоретически път характеристиките могат да се построят с най-малко изразходване на сили и средства. Освен това такива характеристики могат да се построят не само за готов вече, но и за новопроектирван двигател. За да се построят точно характеристиките на ТВД, трябва да се знаят не само характеристиките на неговите основни елементи — турбина, компресор и горивна камера, но и способът за регулиране на двигателя.

Трябва обаче да се отбележи, че при построяване на характеристиките на ТВД способът на регулиране има още по-голямо значение, отколкото при построяване характеристиките на ТуРД, тъй като тук има допълнителен регулируем елемент — въздушното витло. Така например, когато знаем характеристиките на компресора и турбината на ТуРД и загубите в горивната камера, от условието за съвместната работа на турбината и компресора можем да определим температурата на газа пред турбината и да построим всичките му характеристики. В ТВД вследствие наличие на витло характеристиките на турбината и компресора, а също така и загубите в горивната камера не позволяват да се определи температурата на газа пред турбината. Изменението на тази температура може да се задава произволно в границите на допустимите норми.

Построяване на оборотните характеристики на ТВД

Както вече се каза, едни от най-важните характеристики на ТВД са неговите оборотни характеристики. Те се снемат експериментално. При построяване на тези характеристики се измерват основните параметри на двигателя: оборотите *n об/мин*, часовият разход на горивото $G_{\text{г.час}}$ *кг/час*, мощността на въздушното витло $N_{\text{в}}$ *к. с.*, скоростта на изтичане на газовете от реактивното сопло c_4 *м/сек* и разходът на въздуха, преминаващ през двигателя *G кг/сек*. Очевидно е, че от точното измерване на тези величини ще зависи и точността на построяването на характеристиките. Особено точно трябва да се измерват оборотите на двигателя, близки до максималните, защото на този участък от работата на двигателя 1% от оборотите съответствува на $3{,}5 \div 4\%$ от мощността.

Освен основните параметри се измерват също така температурата на газа в реактивното сопло, налягането на горивото, наля-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

гането и температурата на маслото и др. По измерените величини може да се построят кривите $N_{екв}=f(n)$ и $C_e=f(n)$, при което

$$N_{екв}=N_в+0{,}9\frac{G}{g}c_4=N_в+0{,}9P_р,$$

където

$$\frac{G}{g}c_4=P_р \text{ и } C_e=\frac{G_{г.час}}{N_{екв}}.$$

В тоя случай също така, както и при построяването на характеристиките на ТуРД, измерените величини трябва да се приведат към нормалните атмосферни условия. Формулите за привеждане на основните величини (n, G, $G_{г.час}$, $P_р$) за ТВД имат също такъв вид, както и за ТуРД.

Да обозначим с индекс „из" измерените величини, а с индекс „пр" приведените. Тогава формулите за привеждане ще приемат следния вид:

числото на оборотите на двигателя

$$n_{пр}=n_{из}\sqrt{\frac{288}{T_{0\,из}}};$$

разходът на въздуха

$$G_{пр}=G_{из}\frac{760}{p_{0\,из}}\sqrt{\frac{T_{из}}{288}};$$

разходът на гориво

$$G_{г.пр}=G_{г.из}\frac{760}{p_{0из}}\sqrt{\frac{288}{T_{из}}};$$

реактивната теглителна сила

$$P_{р.пр}=P_{р.из}\frac{760}{p_{0из}};$$

мощността на витлото

$$N_{в.пр}=N_{в.из}\frac{760}{p_{0из}}\sqrt{\frac{288}{T_{из}}}\,^{*}.$$

Знаейки $N_{в.пр}$ и $P_{р.пр}$, можем да определим приведената еквивалентна мощност и приведения относителен разход на горивото по следните формули:

$$N_{екв.пр}=N_{в.пр}+0{,}9P_{р.пр},$$

$$C_e=\frac{G_{г.пр}}{N_{екв.пр}}.$$

Типични дроселни характеристики на ТВД са показани на фиг. 166, където се вижда как се изменят мощността на витлото, реактивната теглителна сила и относителният разход на гориво

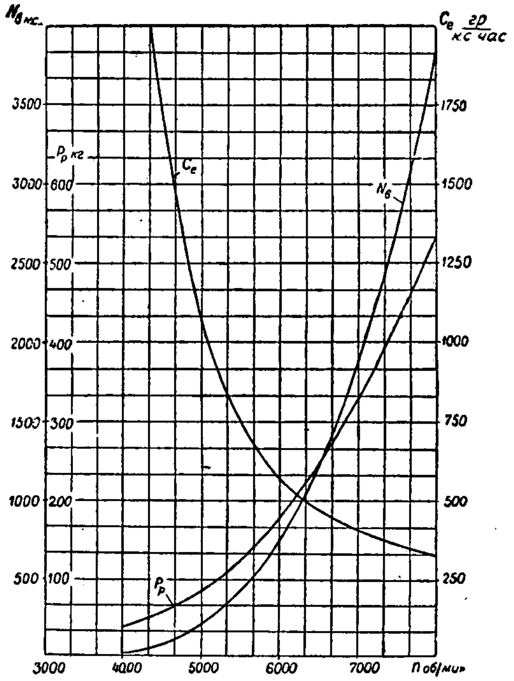
* Тези формули могат да се използуват, когато моментът на двигателя се измерва с хидроспирачка, позволяваща да се създадат условия, подобни на режима на работа на двигателя.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

в зависимост от оборотите на двигателя. От тази фигура се вижда, че мощността и реактивната теглителна сила с намаляване на оборотите на двигателя рязко падат, а относителният разход на горивото рязко се увеличава. Увеличаването на относителния разход на горивото се обяснява главно с намаляване степента на сгъстяване на въздуха, на температурата на газа пред турбината и с известно влошаване хидравликата на вътрешните части на двигателя.

Спадането на мощността на двигателя е свързано със същите фактори и освен това с намаляване разхода на въздух през двигателя. То се обяснява с факта, че колкото са по-малки оборотите, толкова по-малък е разходът на въздух и следователно толкова по-малка е мощността и обратно.



Фиг. 166. Дроселни характеристики на ТВД

Построяването на оборотните характеристики на ТВД по аналитичен способ е затруднено, тъй като има съвсем малко експериментален материал и няма установени мнения за най-изгодния способ за регулиране на двигателя. При аналитичния способ за построяване на характеристиките обикновено се изхожда от условието, че площта на изходното сечение на реактивното сопло не се регулира (f_4=const) и способът на регулиране температурата на газа пред лопатките на турбината е зададен, т. е. известна е функционалната зависимост на температурата на газа пред турби-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ната от оборотите на двигателя $T_3=f(n)$. Освен това в диапазона на най-интересните за практиката обороти се приема също, както и при ТуРД, че параметрите за разхода $\frac{G\sqrt{T_3}}{p_3}$ и на адиабатичната работа на сгъстяването $\frac{L_{ад}}{n^2}$, а също така к. п. д. η_c и η_p остават постоянни. На фиг. 167 са показани относителните оборотни характеристики на ТВД, построени аналитично.

Под относителни характеристики се разбира характеристиките на двигателя, построени в относителни величини. Така например под относителна еквивалентна мощност се разбира отношението на еквивалентната мощност при дадени обороти към еквивалентната мощност на двигателя при работата му на максимални обороти, т. е.

$$\overline{N}_{екв}=\frac{N_{екв}}{N_{екв.о}}.$$

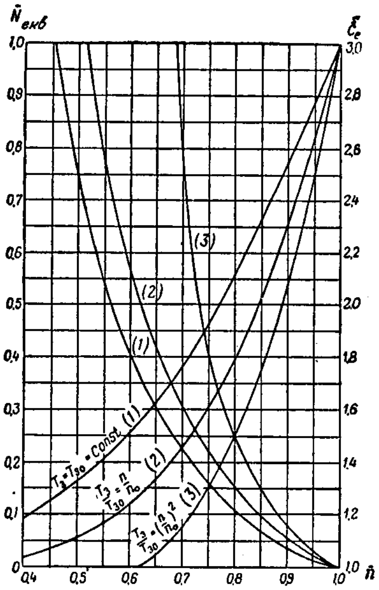
Под относителни обороти се разбира отношението на оборотите на двигателя към максималните обороти, т. е.

$$\overline{n}=\frac{n}{n_0}$$

и т. н.,

където $N_{екв.о}$ — максимална мощност;

n_0 — максимално число на оборотите.



Фиг. 167. Относителни дроселни характеристики на ТВД при различни способи на регулиране на температурата на газовете пред турбината в зависимост от оборотите

Графиците за изменение мощностите и съответните относителни разходи на гориво на фиг. 167 са построени за три случая на регулиране температурата на газа пред турбината:

1. $T_3=T_{3.о}=\text{const}$, т. е. за случая, когато при изменение оборотите на двигателя температурата на газа пред лопатките на турбината се запазва постоянна и равна на максималното ѝ значение.

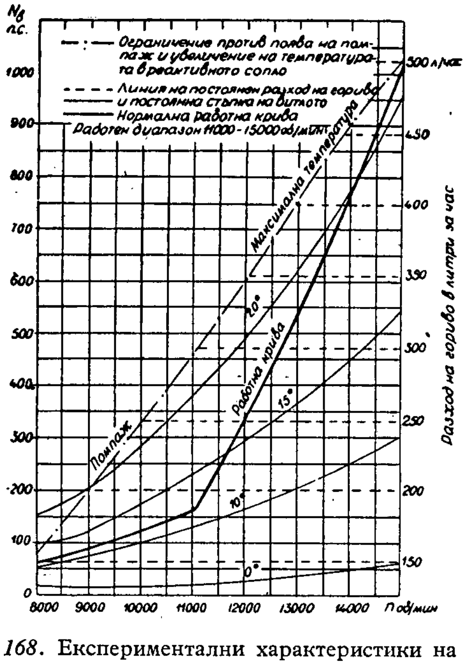
2. $\frac{T_3}{T_{3.о}}=\frac{n}{n_0}$ — температурата на газовете се изменя пропорционално на оборотите.

3. $\frac{T_3}{T_{3.о}}=\left(\frac{n}{n_0}\right)^2$ — температурата на газа се изменя пропорционално на квадрата от оборотите.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

При разглеждане на тези зависимости се вижда, че най-голяма мощност и най-добра икономичност се получават при $T_3 = T_{3 \cdot 0} = \text{const}$. Най-малка мощност и най-лоша икономичност ще има при изменение на температурата на газа пред сопловия апарат на турбината пропорционално на квадрата от оборотите. Обаче приведените зависимости не позволяват още да се направи извод за целесъобразността на регулирането на ТВД по оборотите при $T_3 = T_{3 \cdot 0} = \text{const}$, тъй като в тоя случай за поглъщане на по-големите мощности трябва да се затежелява витлото. Това обстоятелство може да доведе до значително влошаване преходността на двигателя. Освен това, ако температурата на газа се запази постоянна и на малки обороти, това ще доведе до затрудняване пускането на двигателя, защото при твърде високи температури се създава така нареченото топлинно дроселиране на двигателя и компресорът лесно може да премине на помпажен режим.



Фиг. 168. Експериментални характеристики на ТВД с витло с изменяема стъпка

С цел да се подобри преходността на двигателя на практика се стремят пускането му да става на малка стъпка на витлото. С увеличаване оборотите на двигателя стъпката на витлото постепенно се увеличава.

Експериментални характеристики на ТВД с витло с изменяема стъпка са показани на фиг. 168. На фигурата по ординатата е нанесена мощността на въздушното витло, а по абсцисата — оборотите на

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

двигателя. Освен кривата за изменение мощността по оборотите са нанесени също кривите за постоянните значения на разхода на гориво в литри за час, постоянният ъгъл на завъртване на лопатите на витлото, а също и теоретически построената крива за мощността на вала на витлото при постоянно максимално значение на температурата на газовете пред турбината. Както се вижда от тази фигура, работната крива при 11 000 *об/мин* се пречупва. Това се обяснява с факта, че до 11 000 *об/мин* стъпката на витлото не се изменя и е равна на минималното си значение (около 12^0).

От 11 000 до 15 000 *об/мин* стъпката на витлото постепенно се увеличава и достига до 23^0.

Летателни (скоростни и височинни) характеристики на ТВД

При построяването на летателните (скоростни и височинни) характеристики на ТВД по аналитичен способ се приемат същите основни допускания, както и при построяването на аналогичните характеристики за ТуРД. Освен това като условие за регулиране се приема, че при номиналните обороти на двигателя температурата на газовете пред сопловия апарат на турбината за всички скорости и височини на полета остава постоянна.

Тук за разлика от ТуРД условията за постоянство на температурата на газовете (за докритично падане на налягането в реактивното сопло) могат да се запазват независимо от това, дали се регулира, или не изходното сечение на реактивното сопло, тъй като в известни граници може да се преразпредели работата на цикъла между въздушното витло и реакцията на газовата струя.

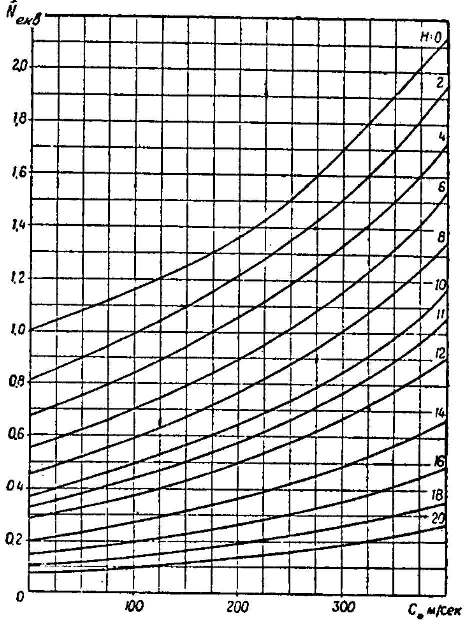
Характеристиките на ТВД — изменението на относителната еквивалентна мощност $\overline{N}_{екв}=\frac{N_{екв}}{N_{екв.о}}$ и относителния разход на горивото $\overline{C}_в=\frac{C_в}{C_{во}}$ в зависимост от скоростта на полета, — построени за различни височини, са дадени на фиг. 169 и 170. Те дават възможност да се проследи как се изменят основните данни на двигателя в зависимост от скоростта и височината на полета. Дадените на фиг. 169 и 170 характеристики на ТВД показват, че с увеличаване скоростта на полета пълната мощност се увеличава, а относителният разход на гориво намалява. С увеличаването пък на височината на полета падат и мощността, и относителният разход на горивото, при което относителният разход на горивото, както и при ТуРД, се намалява само до височина 11 *км*.

Физически намаляването на относителния разход на горивото, т. е. подобряването на икономичността на двигателя, с увеличаване скоростта на полета се обяснява с нарастването на общата степен на сгъстяване на двигателя от скоростния напор. Увеличаването пък на еквивалентната мощност с нарастване скоростта на полета се обяснява главно с увеличаване разхода на въздуха, преминаващ през двигателя.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Що се касае пък до изменението на относителния разход на горивото и мощността на двигателя с изменението на височината на полета, то се обяснява по следния начин. С увеличаване височината на полета (при постоянна скорост на полета) относителният разход на горивото се намалява за сметка на едновременното увеличаване степента на сгъстяване и степента на нагряване на въздуха в двигателя. Причина за това е, че с увеличаване височината на полета до 11 *км* се намалява температурата на обкръжаващия въздух и следователно се увеличават степента на сгъстяване и степента на нагряване (отношението $\frac{T_з}{T_н}$). Очевидно е, че относителният разход на горивото ще се намалява само до височина 11 *км*. На височини, по-големи от 11 *км*, температурата на обкръжаващия въздух пре-



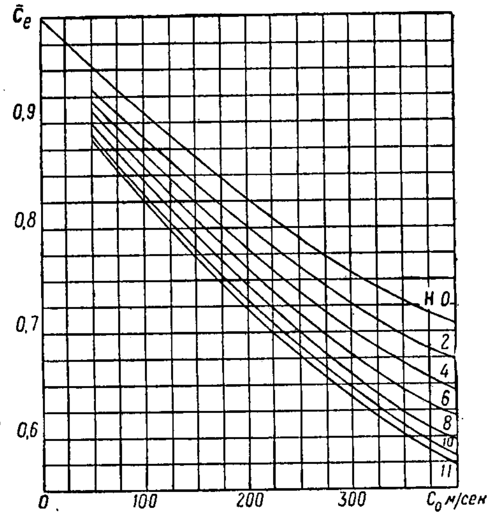
Фиг. 169. График на изменението на относителната еквивалентна мощност $\bar{N}_{екв}$ от скоростта и височината на полета

става да се понижава, поради което степента на сгъстяване и степента на нагряване на въздуха остават постоянни, а следователно остава постоянен и относителният разход на горивото.

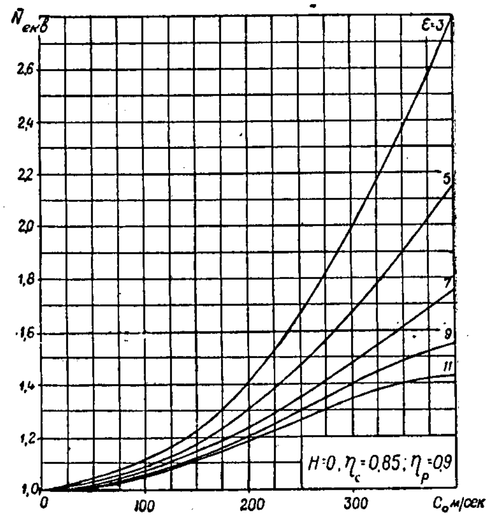
Намаляването на мощността на двигателя с увеличаване на височината на полета се обяснява с намаляване разхода на въздуха, преминаващ през двигателя. До височина 11 *км* мощността пада побавно, отколкото след тая височина. Това се обяснява с факта, че разходът на въздуха, преминаващ през двигателя, до височина 11 *км*

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6



Фиг. 170. График на изменението на относителния (специфичен) разход на гориво $\bar{C}_e$ от скоростта и височината на полета



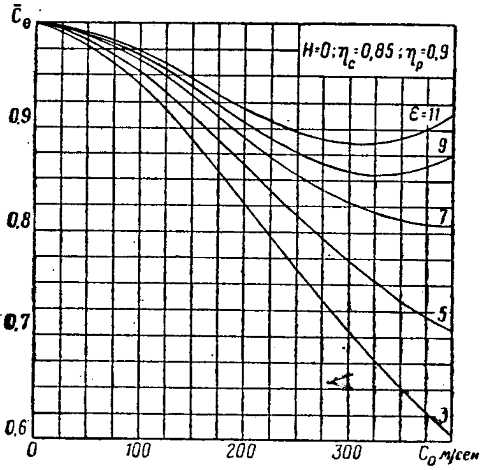
Фиг. 171. График на изменението на относителната еквивалентна мощност $\bar{N}_{екв}$ от скоростта на полета при различни степени на сгъстяване

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

за сметка на увеличаване степента на сгъстяването се намалява малко по-бавно, отколкото на височини, по-големи от 11 *км*. Освен това работата на цикъла до 11 *км* се увеличава вследствие на повишаването на степента на сгъстяване и степента на нагряване на въздуха, поради което намаляването на разхода на въздуха частично се компенсира с увеличаването на работата на цикъла и в резултат на това до височина 11 *км* мощността спада по-бавно. Над 11 *км* височина работата на цикъла остава постоянна, а разходът на въздуха и мощността на двигателя се намаляват пропорционално на плътността на обкръжаващия въздух.

Трябва да се отбележи, че характерът на изменяне мощността и относителния разход на гориво от скоростта и височината на полета в значителна степен зависи от изходните степени на сгъстяване и от температурата на газовете пред турбината.



Фиг. 172. **График на изменението на $\bar{C}_e$ от скоростта на полета при различна степен на сгъстяване**

Изменението на еквивалентната мощност и на относителния разход на гориво от скоростта на полета за двигателите, имащи различни степени на сгъстяване на въздуха при земни статически условия, е дадено на фиг. 171 и 172. От фигурите се вижда, че скоростните характеристики на двигателя се изменят в зависимост от степента на сгъстяване, която двигателят има при работа на земята. Към такъв извод може да се дойде, като се построят характеристиките на двигателя при различни температури на газа пред турбината.

Характеристиките на ТВД, както видяхме, представляват голям интерес за практиката. С тяхна помощ може винаги да се определят мощността и разходът на гориво при различни условия на полета и различни обороти на двигателя.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Доцент, кандидат по техническите науки
инженер-майор Л. П. АЛЕКСЕЕВ

ПРАВОПОТОЧНИ ВЪЗДУШНО-РЕАКТИВНИ ДВИГАТЕЛИ

Правопоточният въздушно-реактивен двигател (ПВРД) е най-простият въздушно-реактивен двигател, в който сгъстяването на въздуха се осъществява само от скоростния напор, а топлината се подвежда в горивната камера при постоянно или незначително намаляващо се налягане.

При малки скорости на полета степента на сгъстяване на въздуха, получена за сметка на скоростния напор, се оказва незначителна, в резултат на което правопоточните ВРД имат нисък к. п. д. и не осигуряват достатъчна теглителна сила. По-специално, при скорост на полета, равна на нула, правопоточните ВРД не могат да създават теглителна сила.

С увеличаване скоростта на полета степента на сгъстяване се увеличава и данните на ПВРД се подобряват. Тъй като в ПВРД няма турбокомпресор, в него могат да се получат високи степени на нагряване на въздуха, което позволява да се увеличи теглителната сила на двигателя и да се подобри неговата икономичност при големи скорости на полета (при $M > 3$). Изчисленията показват, че ПВРД при такива скорости на полета могат да имат най-добри данни за някои относителни показатели (относителната теглителна сила, относителното тегло и др.) в сравнение с ТуРД. Към преимуществата на ПВРД трябва да се отнесат също така простотата и сигурността на конструкцията, живучестта и малкото тегло на двигателя.

Устройство и работен процес на правопоточния ВРД

Работният процес и основните показатели на правопоточния ВРД съществено зависят от скоростта на полета. Това обуславя различията в устройството и методите на разчета на ПВРД, предназначени за полети при дозвукови и свръхзвукови скорости.

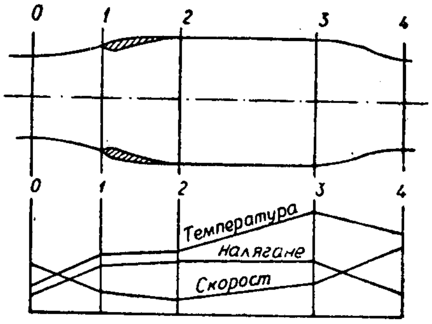
Правопоточните ВРД за дозвукови скорости на полета се състоят от дифузор, горивна камера и реактивно сопло (фиг. 173). Характерните сечения на газовъздушния път на двигателя на фигурата са обозначени: в несмутената среда чрез *0—0*, на входа в дифузора (двигателя) *1—1*, на входа в горивната камера *2—2*, на изхода от горивната камера *3—3*, на изхода от реактивното сопло *4—4*. Скоростта и параметрите на въздуха в тези сечения по-нататък ще се обозначават със съответните индекси. Графикът под фигурата показва

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

изменението на скоростта, налягането и температурата на въздуха в различните участъци на двигателя.

Топлинната енергия в ПВРД се преобразува в полезна теглителна работа принципно по същия начин, както и в ТуРД. Насрещният въздушен поток при полет се заприщва главно пред входа на дифузора на двигателя и частично в самия него. При това в съответствие с намаляването на скоростта налягането се повишава. Колкото е по-голяма скоростта на полета, толкова по-голямо ще бъде сгъстяването на въздуха от скоростния напор. Сгъстеният въздух постъпва по-нататък в горивната камера, където се нагрява в резултат на изгарянето на горивото.



Фиг. 173. Схема на правопоточен ВРД за дозвукови скорости на полета и неговите характеристики

При даден разход на въздуха през двигателя размерите на дифузора се определят от скоростта в сечение *2—2*. Намаляването на скоростта в началото на горивната камера довежда при даден разход на въздуха до увеличаване размерите на двигателя (площта F_2) и неговото външно съпротивление.

Увеличаването на скоростта на потока в горивната камера влошава горивния процес и води до намаляване на нейния к. п. д., което съществено се отразява върху теглителната сила и относителния разход на горивото.

Тъй като налягането в края на сгъстяването вследствие намаляването на скоростта при малки значения на M_2 се увеличава незначително, то M_2 обикновено се взема максимално допустимо, като се изхожда от сигурната и устойчива работа на горивната камера. Обикновено M_2 е равно на 0,15—0,2.

Подаването на горивото в горивната камера се осъществява чрез специални форсунки.

При пускане на двигателя гориво-въздушната смес се възпламенява от авиационна свещ, поставена на известно разстояние зад форсунките. След пускането на двигателя свещта се изключва, а горенето се поддържа благодарение на непрекъснатото подаване на гориво и въздух.

На входа в горивната камера са поставени приспособления за турболизиране (завихряне) на потока, които осигуряват създаването в камерата на устойчиви местни огнища на горене. Процесът на горенето в правопоточните ВРД става при почти постоянно налягане, така че налягането на изхода от горивната камера малко се различава от налягането на входа ѝ. Ето защо правопоточните ВРД се отнасят към групата двигатели, работещи по цикъла с подвеждане на топлина при постоянно налягане. В действителност налягането в горивната

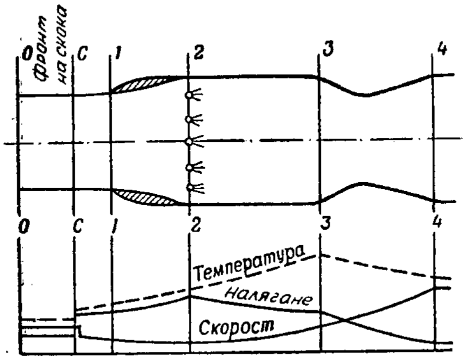
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

камера с цилиндрическа форма отчасти намалява вследствие увеличаването на скоростта на газовете в резултат на тяхното нагряване, а също и от хидравличните съпротивления.

Температурата на газовете на изхода от горивната камера може да достигне 2000°С и повече, а скоростта — 400—500 *м/сек*. Продуктите на изгарянето от камерата постъпват в соплото. То представлява стесняващ се канал, в който газовете се разширяват и достигат скорост, превишаваща скоростта на полета.

Теглителната сила, която се създава от двигателя, се определя като разлика от количеството движение на изтичащите от двигателя изгорели газове и количеството движение на постъпващия в него въздух.



Фиг. 174. Свръхзвуков правопоточен ВРД и неговата характеристика

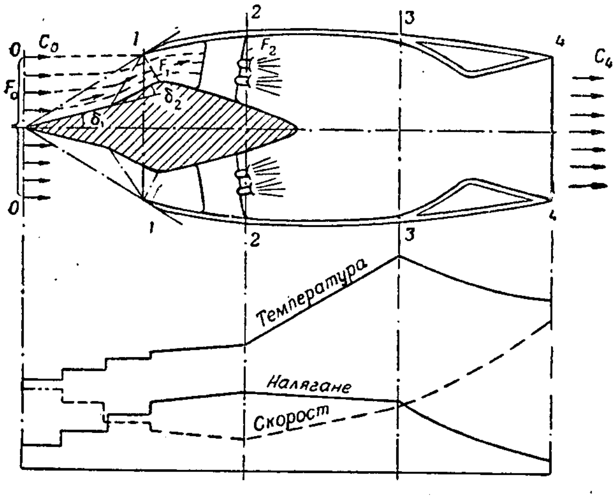
При свръхзвукови скорости на полета процесите сгъстяване в дифузора и разширение в реактивното сопло се съпровождат с преминаване на скоростта на въздушния поток през скоростта на звука. От газодинамиката е известно, че този преход може да се осъществи в идеален случай в канал, който има стесняваща се и разширяваща се част. Процесът разширение, както показва опитът, настъпва плавно, с малки загуби както при малки, така и при големи разлики в налягането. Осъществяването на непрекъснато сгъстяване на въздуха с постоянно намаляване на скоростта и нарастване на налягането при свръхзвукови скорости на полета в канали, имащи указаните очертания, практически е невъзможно. Това се обяснява с факта, че на входа в двигателя възниква ударна вълна или така нареченият скок на уплътнение, в който скоростта мигновено спада, а налягането нараства. Скокът на уплътнението е твърде близък до правия, поради което скоростта на въздуха след него става дозвукова и нуждата от стесняващ участък в дифузора на входа на двигателя отпада. Свръхзвуков правопоточен ВРД с прав скок на уплътнение на входа е показан на фиг. 174. Освен това на фиг. 174 е дадено как се изменят скоростта, налягането и температурата на въздуха по дължината на двигателя в разгледания случай.

Преходът от свръхзвукова скорост към дозвукова чрез прав скок на уплътнение се съпровожда с големи загуби, в резултат на което налягането при заприщване се оказва значително по-малко от налягането на заприщения поток при адиабатично сгъстяване. Това довежда до рязко намаляване на теглителната сила на двигателя и до влошаване на неговата икономичност. Ето защо,

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

когато двигателят е предназначен за скорости на полета, значително превишаващи скоростта на звука, трябва процесът на заприщване на въздушния поток да се осъществява посредством система от коси скокове, завършващи със слаби прави скокове. Наистина и в такава система на скокове загуби все още ще има, но, както доказаха съветските учени Г. И. Петров и Е. П. Ухов, при съответен избор на интензивност на косите скокове загубите ще бъдат по-малки, а следователно налягането на заприщването — по-голямо, отколкото само при прав скок. Колкото е по-голяма скоростта на полета и колкото са повече косите скокове, толкова по-значително се увеличава налягането на заприщването в сравнение със сгъстяването при прав скок.



Фиг. 175. **Правопоточен ВРД за свръхзвукови скорости на полета с трискоков входен дифузор**

Косите скокове в процеса на сгъстяването могат да се получат с помощта на специална профилирана игла, разположена в дифузора на двигателя и изтеглена в посока на полета. Схема на правопоточен двигател за големи свръхзвукови скорости на полета с трискоков дифузор и съответното изменение на параметрите на въздуха е показана на фиг. 175. Интензивността на косия скок се определя от числото M на насрещния въздушен поток и ъгъла на отклонение на потока δ. Размерите на конуса и ъглите на косите скокове се подбират така, че на разчетните режими на полета всички скокове на уплътнения да се пресичат в предния край на дифузора. С такова разположение на скоковете на уплътнение се достига максимален разход на въздуха, минимални загуби в процеса на сгъстяването и най-малко съпротивление в дифузора.

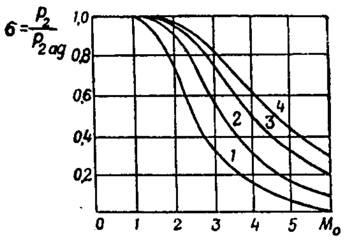
За дадена система на скокове съществува оптимален вариант, съответстващ на най-голямото възстановяване на налягането след

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

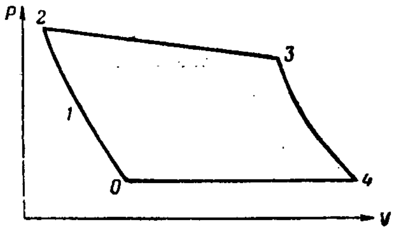
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

последния скок. За да се получи оптималният вариант на системата на скоковете, ъглите на конуса (δ_1, δ_2 и т. н.) се подбират по съответен начин.

Разчетните данни, характеризиращи възстановяването на налягането в дифузора по отношение налягането на адиабатичното заприщване при оптимални варианти на системата на скока, са дадени на фиг. 176, където цифрите на кривите обозначават числото на скоковете. Те показват, че при $M<1{,}5$ може да се използува дифузор само с прав скок. В областта на скоростите на полетите, съответствуващи на $M=1{,}5\div2$, е целесъобразно да се използува дифузор с един кос и един прав скок. При $M>2$ косите скокове трябва да бъдат не по-малко от три.



Фиг. 176. **График на коефициентите на възстановяване на налягането в дифузора по отношение налягането на адиабатичното заприщване при оптимални варианти на системата на скоковете (цифрите обозначават числото на скоковете)**



Фиг. 177. **Диаграма на работния процес на правопоточния ВРД с едноскоков дифузор в координатите p—v при свръхзвукови скорости на полета**

Трябва да се отбележи, че указаните на фиг. 175 положения на скоковете са валидни само за разчетния режим. С изменение скоростта на полета системата скокове се деформира, защото при зададен ъгъл на отклонение на потока ъгълът на скока зависи от числото M на насрещния поток. При намаляване скоростта на полета ъглите на скоковете обикновено се увеличават, което се съпровожда с намаляване площта на влизащата в двигателя въздушна струя, а това довежда до по-бързо намаляване на разхода на въздух през двигателя и влошаване на неговите характеристики.

Да разгледаме как се изменят параметрите на състоянието на въздуха при преминаването му през двигател с едноскоков дифузор в координатите p—v при свръхзвукови скорости на полета (фиг. 177). Линията *0—1* условно изобразява сгъстяването на газа в правия скок, а линията *1—2* в дифузора. Налягането на газа в края на сгъстяването при действителния процес ще бъде по-малко, отколкото при адиабатичния, поради загубите в скоковете и в дифузора. Тем-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

пературата на газа в сечение 2—2 зависи от неговата скорост и съгласно уравнението за съхранение на енергията се определя от следното уравнение:

$$T_2 = T_0 + \frac{c_0^2 - c_2^2}{2g\frac{k}{k-1}R}.$$

Подвеждането на топлина в дадения случай се изобразява с наклонената линия 2—3 в съответствие с намаляването на налягането в горивната камера по указаните причини. Точка 3 съответствува на състоянието на газа в края на горивната камера. Ако горивната камера е с цилиндрична форма, скоростта на изхода от нея w_3 ще бъде по-голяма, отколкото на входа, тъй като в резултат на повишаването на температурата на газа относителният му обем се увеличава. Разширението на газа в реактивното сопло също се съпровожда със загуби: процесът на разширяването — линията 3—4 — се изобразява с някаква политропа с показател n, по-малък от k. Състоянието на газа на изхода от двигателя се определя от точката 4. Както се вижда от фиг. 174, температурата на газа на изхода от двигателя е значително по-голяма от температурата на обкръжаващия въздух.

Теглителната сила P, относителната теглителна сила $P_{отн}$ и относителният разход на горивото $C_{отн}$ на правопоточния ВРД се определят, както и при ТуРД, по формулите

$$P = \frac{G}{g}(c_4 - c_0);$$

$$P_{отн} = \frac{1}{g}(c_4 - c_0);$$

$$C_{отн} = \frac{3600 c_p T_H\left(\Delta - \frac{e-1}{\eta_c} - 1\right)}{\delta H_u P_{отн}},$$

където c_4 е скоростта на изтичането на газовете от реактивното сопло на двигателя;

$\Delta = \frac{T_3}{T_н}$ — степента на загряване;

η_c — к. п. д. на процеса сгъстяване.

Отличителна особеност на правопоточния ВРД е съществената зависимост на неговите показатели от числото M на полета. Това се обяснява с факта, че основните параметри, определящи ефективността на работния процес в правопоточния ВРД, като степен на сгъстяване, к. п. д. на процесите разширение и сгъстяване, а така също разхода на въздуха на дадена височина, зависят главно от скоростта на полета.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Характеристики на правопоточния ВРД

Под характеристики на правопоточния ВРД се разбира зависимостите на теглителната сила и относителния разход на горивото от скоростта и височината на полета. Различават се скоростни и височинни характеристики. Характеристиките, показващи изменението на теглителната сила и относителния разход на горивото в зависимост от скоростта на полета при постоянна височина, се наричат скоростни. Височинните характеристики показват изменението на теглителната сила и относителния разход в зависимост от височината при постоянна скорост на полета.

Характерът на изменението на теглителната сила P и на относителния разход на горивото $C_{отн}$ на правопоточния ВРД с изменяне режима на полета в значителна степен зависи от способа на регулиране на двигателя, осъществен в общ случай чрез регулиране на проходните сечения на двигателя и степента на нагряване на въздуха. Като възможни варианти за изменяне степента на нагряването с изменяне режима на полета може да се посочат например постоянството на температурата T_3 и постоянството на повишаването на температурата в процеса на горенето $T_3—T_2$, което се получава при постоянен коефициент на излишния въздух. Практическият способ за изменяне степента на нагряването във всеки отделен случай се избира, като се изхожда от условието за получаване на най-благоприятни теглителни характеристики и най-добра икономичност на двигателя за даден диапазон от режими на полета.

Регулирането на проходните сечения на двигателя позволява независимо от температурата в горивната камера да се изменя разходът на въздуха. Заедно с това то осигурява удовлетворителни условия за работа на отделните елементи на двигателя при различни режими на полета. Така, ако площта на критическото сечение не се изменя, а температурата в горивната камера се поддържа постоянна, пропускателната способност на реактивното сопло с увеличаване скоростта на полета рязко се увеличава, което налага да се увеличи проходното сечение на дифузора. Недостатъчното увеличаване на площта на дифузора в тези случаи предизвиква падане на налягането в горивната камера и като следствие — намаляване на относителната теглителна сила и повишаване разхода на горивото.

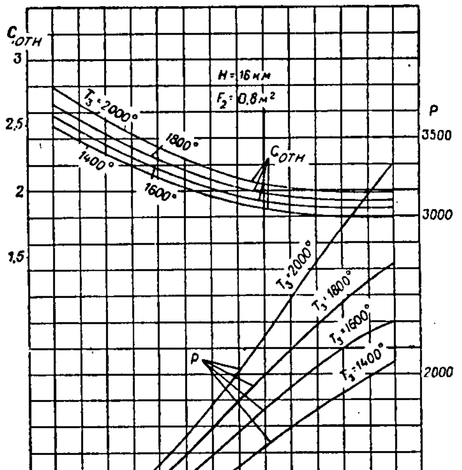
Регулирането на дифузора дава възможност да се намалят загубите през време на сгъстяването при неразчетните режими и следователно за сметка на увеличаването на степента на сгъстяването ще се повишат разходът на въздуха и икономичността на двигателя.

Ако пък площта на дифузора се запази неизменна, с увеличаването на скоростта на полета проходната площ на соплото трябва да се намали. Обаче прекаленото намаляване на площта на соплото може да доведе до появяване на обратни течения в дифузура и следователно до увеличаване загубите при сгъстяването и външното съпротивление на дифузора. Да направим анализ на характеристиките на правопоточния ВРД.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

За упростяване ще приемем, че при дозвуковите скорости на полета площта на изходната струя остава постоянна (F_4=const) и че регулирането на двигателя при свръхзвукови скорости осигурява постоянна площ на струята на влизащия в двигателя въздух (F_0=const). Първото условие практически се изпълнява тогава, когато реактивното сопло не се регулира. Изборът на второто условие се обуславя от следните обстоятелства. При свръхзвукови скорости на полета се налага да се съобразяваме с така наречените вълнови съпротивления на дифузора, възникващи в тези случаи, когато площта на насрещния въздушен поток е по-малка от площта на входа ($F_0 < F_1$). Вълновото съпротивление на дифузора намалява ефективната теглителна сила на двигателя, поради което е желателно на всички режими на полета площта на насрещния въздушен поток F_0 да бъде равна на площта на входа в дифузора F_1. Изпълнението на това условие практически е възможно чрез съответното регулиране на проходните сечения на свръхзвуковия дифузор и соплото.



Фиг. 178. Скоростни характеристики на ПВРД с трискоков дифузор за различни значения на T_3

На фиг. 178 и 179 са дадени определените чрез изчисление скоростни характеристики на ПВРД с трискоков дифузор за различни степени на нагряване на въздуха и различни височини на полета. Както се вижда от фигурите, характерът на изменението на P и $C_{отн}$ от скоростта зависи от скоростта на полета и от степента на нагряването на газа. Да разгледаме зависимостта на P и $C_{отн}$ при T_3=const от скоростта на полета в областите на малките значения на числото M_0.

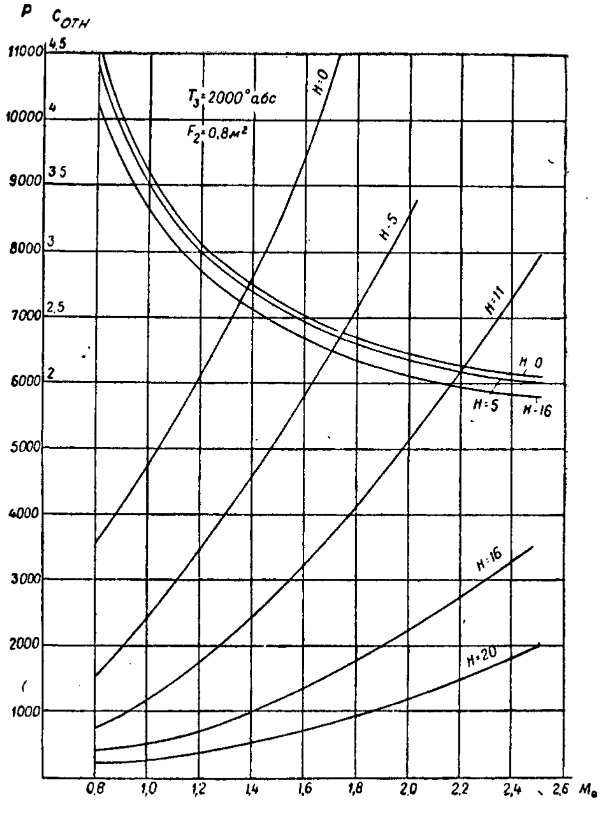
При скорости на полета 200—250 *м/сек* степента на сгъстяване на въздуха за сметка на скоростния напор съставлява 1,2—1,25. Относителната теглителна сила се изменя почти пропорционално на скоростта на полета, а относителният разход на горивото — по хиперболичен закон. Значителното увеличаване на относителната теглителна сила и намаляването на относителния разход на горивото се обясняват главно с подобряване използуването на топлината за сметка на увеличаване степента на сгъстяване. Разходът на въздуха се изменя пропорционално на скоростта на полета. Следователно пъл-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ната теглителна сила на безкомпресорния ВРД с постоянна площ на изходното сечение на реактивното сопло се изменя приблизително пропорционално на квадрата от скоростта на полета. Трябва да се отбележи, че в разглеждания случай постоянството на изходната площ предполага регулиране на дифузора.

Ако дифузорът не се регулира (площта F_2 да остава постоянна), с увеличаване на скоростта на полета площта F_4 трябва да се намали. При това повишаването на разхода на въздух с увеличаване скоростта на полета ще протича по-бавно, отколкото в случая, когато F_4=const.



Фиг. 179. Скоростни характеристики на ПВРД с трискоков дифузор за различни височини на полета

При дозвуковите скорости на полета икономичността на правопоточния ВРД вследствие на малката степен на сгъстяване на тези скорости се оказва 4—5 пъти по-лоша от икономичността на буталните и турбо-реактивните двигатели.

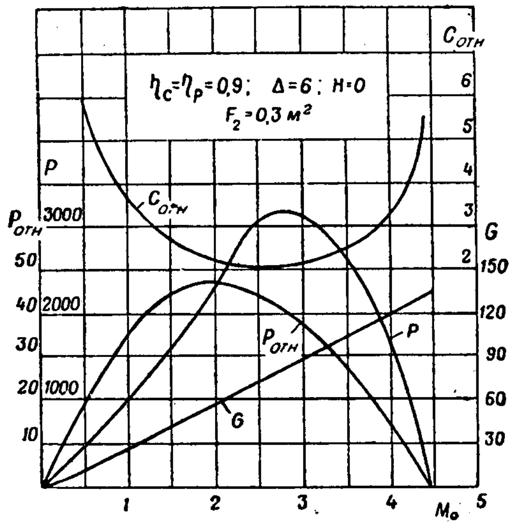
Повишаването на степента на загряване в двигателя води до увеличаване на неговата относителна теглителна сила. Най-добра

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

икономичност двигателят достига при известна оптимална степен на нагряване, величината на която е $\Delta = 3—3{,}5$.

Увеличаването на степента на нагряване на въздуха в правопоточния ВРД в сравнение с оптималната довежда до незначително увеличаване на относителния разход на гориво, докато в същото време теглителната сила продължава да расте. Поради това при избора на максимално допустимата степен на нагряване на въздуха трябва да се изхожда от сигурността на конструкцията. При това влошаването на икономичността е незначително, а размерите на двигателя значително се намаляват.



Фиг. 180. **Скоростни характеристики на ПВРД**

Скоростни характеристики на ПВРД в по-широк диапазон от скорости са дадени на фиг. 180. Както се вижда от фигурата, с увеличаване скоростта на полета разходът на въздуха непрекъснато се увеличава по линеен закон. Относителната теглителна сила отначало расте, а след това, достигайки своя максимум, започва да намалява. Максимума си относителната теглителна сила достига в зависимост от степента на нагряване на въздуха в диапазона на скоростите, съответствуващи на числото $M_0 = 1{,}75 \div 2{,}00$.

При големи свръхзвукови скорости относителната теглителна сила на ПВРД става равна на нула. Това се обяснява главно с намаляване на количеството топлина, предавана на въздуха в горивната камера вследствие нарастването на температурата на въздуха в края на сгъстяването.

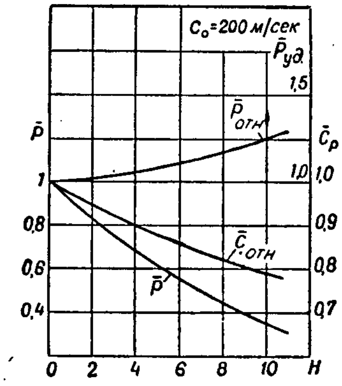
Скоростта, при която $P_{отн}$ става равна на нула, се увеличава с нарастването на степента на нагряване на въздуха, което от своя страна се ограничава от сигурността на работата на двигателя. Ако допуснем обаче, че температурата T_3 не е ограничена и

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

нагряването на въздуха $\Delta T = T_3 - T_2$ може да се избере максимално, съответствуващо на състав на горивo-въздушна смес $\alpha = 1$, то и тогава при големи скорости на полета относителната теглителна сила на двигателя неизбежно ще започва да пада. Това се дължи на факта, че при едно и също увеличаване на кинетичната енергия $\frac{c_4^2 - c_0^2}{2g}$ на преминаващия през двигателя въздух разликата $c_4 - c_0$, а следователно и относителната теглителна сила ще бъде толкова по-малка, колкото е по-голяма скоростта на полета.

При $\Delta = 6$ относителната теглителна сила на двигателя става равна на нула при $M_0 \approx 1,5$. Теглителната сила на двигателя достига максимума си при скорости на полета, превишаващи скоростта, съответствуваща на максималната относителна теглителна сила, вследствие на това, че в известен диапазон на скорости увеличаването на разхода на въздуха преобладава над намаляването на относителната теглителна сила. Относителният разход на гориво в областта на свръхзвуковите скорости на полета отначало започва да пада, достига своя минимум, след което започва да се увеличава. Повишаването на относителния разход на горивото при големи скорости на полета се обяснява с намаляването на относителната теглителна сила, което се оказва по-значително, отколкото намаляването на количеството подведена топлина. При скорости на полета, при които относителната теглителна сила на двигателя става равна на нула, подвежданата топлина компенсира само хидравличните загуби в двигателя. Относителният разход на горивото при това става безкрайно голям.



Фиг. 181. Височинни характеристики на ПВРД

Да разгледаме височинните характеристики на ПВРД. Както се вижда от фиг. 181, теглителната сила на ПВРД с увеличаване височината на полета непрекъснато спада. Относителният разход на гориво се намалява при увеличаване на височината на полета от 0—11 *км*, а на височини, по-големи от 11 *км*, остава постоянен. Трябва да се отбележи, че количественото изменение на теглителната сила и относителния разход на гориво с изкачване на височина зависи от скоростта на полета, а също и от способа на регулиране на двигателя. Както и по-преди, ще приемем, че регулирането на двигателя осигурява постоянство на площта на струята, влизаща в двигателя, и на температурата в горивната камера.

За да обясним характера на изменението на теглителната сила в ПВРД с изкачване на височина, нека видим как при това се изменят относителната теглителна сила и разходът на въздуха. С увеличаване на височината на полета до 11 *км* степента на сгъстяване и степента

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

на загряване на въздуха растат вследствие намаляването на температурата на обкръжаващия въздух, което довежда до нарастване на относителната теглителна сила. При скорости на полета, съответствуващи на $M=1,5\div 2,0$, увеличаването на относителната теглителна сила на височина 11 *км* може да достигне 40—50%. На височини, по-големи от 11 *км*, температурата се изменя малко и поради това степента на сгъстяване и степента на загряване, а следователно и относителната теглителна сила остават постоянни.

Разходът на въздуха с изкачване на височина в нашия случай на регулиране се изменя пропорционално на плътността на обкръжаващия въздух. В случай на регулиране $F_4=\text{const}$ и $T_3=\text{const}$ разходът на въздуха се намалява даже по-бързо, отколкото падането на неговата плътност. Намаляването на разхода на въздуха с изкачване на височина предизвиква намаляване на теглителната сила на ПВРД. Нарастването на относителната теглителна сила довежда до това, че теглителната сила намалява малко по-малко, отколкото плътността на въздуха. Намаляването на относителния разход на гориво при увеличаване на височината до 11 *км* се обяснява с това, че в резултат на нарастването на степента на сгъстяване с изкачване на височина се подобрява използуването на топлината. Приведените данни позволяват да се счита, че ПВРД, който сега при малки скорости на полета се използува в авиацията като ускорител, е перспективен и при по-големи скорости на полета може да намери по-широко приложение.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

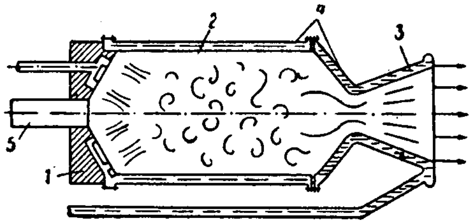
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Кандидат по техническите науки
инж.-подполковник Н. Е. КОНОВАЛОВ

РАБОТЕН ПРОЦЕС И ХАРАКТЕРИСТИКИ НА РАКЕТНИТЕ ДВИГАТЕЛИ С ТЕЧНО ГОРИВО И ТЕЧЕН ОКИСЛИТЕЛ (ТЕЧНО-РАКЕТНИ ДВИГАТЕЛИ ТеРД)

В течно-ракетните двигатели (ТеРД) за разлика от въздушно-реактивните двигатели за изгаряне на горивото се използува течен окислител, който се намира на самолета.

Основният елемент на течно-ракетния двигател — горивната камера* (фиг. 182), се състои от глава *1*, горивна камера *2*, сопло *3*, охладителна риза *4* и запално устройство *5*. В горивната камера става изгарянето на горивото, в резултат на което се образуват газове с висока температура и високо налягане.



Фиг. 182. Схема на камерата на течния ракетен двигател:
1 — глава; *2* — горивна камера; *3* — сопло; *4* — охладителна риза; *5* — запално устройство

Потенциалната енергия на газовете частично се преобразува в соплото в кинетична енергия. За сметка на изтичането на газовете от соплото с голяма скорост се създава теглителната сила на двигателя *P*.

Компонентите на топливото (окислител и гориво) се подават от горивните резервоари в горивната камера чрез центробежни или зъбчати помпи или под налягане на сгъстени газове.

Първият способ се нарича помпено подаване на горивото, а вторият — бутилково.

---

* Понякога ТеРД включват в себе си две или няколко горивни камери. Такива ТеРД се наричат съответно двукамерни или многокамерни.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

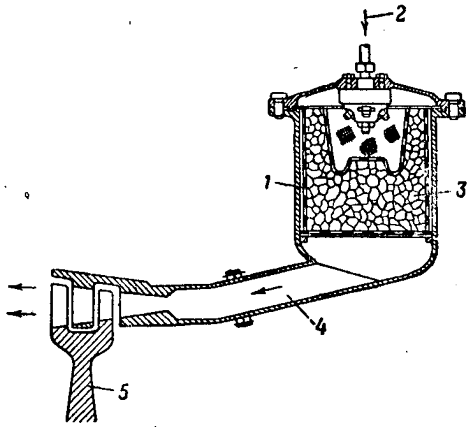
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

В двигателя с бутилково подаване на горивото горивните бутилки или резервоари са изработени с оглед на здравината с дебели стени, което значително увеличава теглото им. Ето защо бутилковото подаване се използува само в двигатели с малка теглителна сила или с малка продължителност на работа, когато теглото и размерите на горивните бутилки са сравнително малки.

В двигателите с голяма теглителна сила и с голяма продължителност на работа обикновено се използува помпено подаване на горивото. Движението на горивните помпи става от основния двигател на летателния апарат (когато като основен двигател се използува бутален или въздушно-реактивен, а ТеРД е спомагателен) или от специална газова турбина. В последния случай турбината заедно с привежданите от нея горивни помпи образува така наречения турбопомпен агрегат (ТПА) на течно-ракетния двигател.

Турбината на ТПА обикновено се движи от продуктите при разлагането на маловоден (80—90% концентрация) водороден двуокис — парогаз.

Благодарение на това, че парогазът има устойчива и напълно приемлива за работните лопатки на турбината температура (500—700°C), водородният двуокис намери широко приложение като гориво за привеждане в движение на ТПА. Разлагането на водородния двуокис се осъществява в специален агрегат, наречен парогазгенератор (ПГГ).



Фиг. 183. Схема на парогазгенератор:
1 — парогазгенератор; 2 — тръба за подвеждане на водородния двуокис; 3 — твърд катализатор; 4 — парогаз; 5 — работно колело на двустепенната турбина

За ускоряване разлагането на водородния двуокис в ПГГ се използуват специални катализатори, които могат да бъдат както течни, така и твърди. На фиг. 183 е дадена типична схема на ПГГ, работеща с твърд катализатор.

Парогазът, постъпвайки в турбината на ТПА от ПГГ (гледай фиг. 183), има налягане 20—30 *кг/см*². За да се използува ефективно такова високо налягане, турбината се прави многостепенна (обикновено се използуват активни турбини, които имат по-проста конструкция, отколкото реактивните).

Най-голямо разпространение в ТПА получиха двустепенните турбини.

Както вече беше казано, температурата на газовете в камерата на ТеРД е много висока. Тя обикновено превишава значително температурата на топене на материала на стените на двигателя. Ето

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

защо охлаждането на стените на ТеРД има твърде важно значение. Сигурното охлаждане — това е един от основните фактори за безотказната работа на ТеРД.

От способите за охлаждане на течните ракетни двигатели най-широко разпространение е получило външното охлаждане на стените с компонентите на топливото. При това компонентите на топливото (или единия от тях) отначало се подават в охладителната риза, а след това чрез форсунките — в горивната камера (гледай фиг. 182).

Такъв способ на охлаждане е твърде изгоден, тъй като топлината, преминаваща през стените на двигателя, отново се връща с горивото в горивната камера. Освен това предварителното загряване на компонентите способствува за по-бързото им изпарение в камерата, а следователно и за по-пълното им изгаряне, т. е. способствува за подобряване икономичността на двигателя.

Когато външното охлаждане се оказва недостатъчно, използуват се други способи за охлаждане и специално така нареченото вътрешно охлаждане, при което горивото по един или друг начин се подава по вътрешната повърхност на стените на двигателя и ги защищава от прегаряне.

Да разгледаме по-подробно процесите, които стават в горивната камера на ТеРД.

Горивото се подава в горивната камера обикновено в предната ѝ част — в главата. В главата се намират изолирани кухини или канали за окислителя и за горивото, през които те разделено се подават в горивната камера чрез съответни форсунки. Горивото постъпва в главата под налягане, превишаващо налягането в камерата, за да има по-голяма разлика в налягането до и след форсунката, което осигурява добро разпръскване на горивото на всички режими на работа на двигателя.

На максимален режим тая разлика в налягането обикновено достига 10—15 *кг/см*². С намаляване разхода на гориво разликата се намалява приблизително пропорционално на квадрата от разхода и при минимален режим обикновено става равна на 0,5—1,5 *кг/см*².

Количеството, разположението и типът на форсунките се избират с оглед да се получи равномерно смесване на горивото и окислителя и възможното им най-пълно изгаряне в камерата.

Образуваната в началото на камерата горивна смес при пускане на двигателя се възпламенява от електрическа свещ, от пиропатрони или от други средства за запалване.

През време на работа на двигателя специално запалване не е необходимо: впръсканото гориво се възпламенява от продуктите на горенето, намиращи се в камерата.

Горенето на топливото в камерата на ТеРД представлява сложен процес. То обикновено се подразделя на редица последователно протичащи процеси, макар че такова деление, разбира се, да е твърде условно.

Движението на впръсканото топливо от форсунките дълбоко навътре в горивната камера предизвиква насрещни движения на

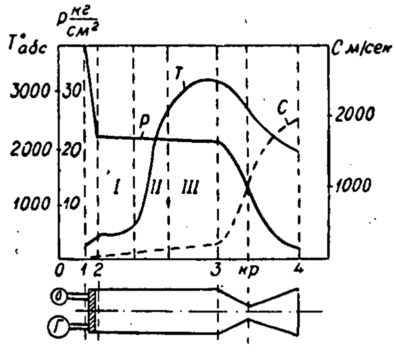
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

продуктите от изгарянето, намиращи се в камерата, към главата. В резултат на интензивното предаване на топлината от продуктите на изгарянето капките на топливото бързо се изпаряват. Едновременно с това се извършва смесването на окислителя и горивото. В образуващите се зони на смесване на горивото с окислителя започва химическа реакция, която ускорява нагряването на топливото.

С покачване на температурата процесът на химическото взаимодействие на окислителя и горивото се ускорява, докато най-после при известна температура бавната реакция на окисляване премине в бърза реакция на горене, съпровождаща се с отделяне на голямо количество топлина и появяване на пламък.

По такъв начин в началния участък I на горивната камера (фиг. 184) стават подготвителните процеси, предшествуващи появяването на пламъци, за които е характерно незначителното изменение на средната температура.



Фиг. 184. **График на изменение на налягането, температурата и скоростта на продуктите на горенето при движението в ТеРД**

В следващите части на камерата на горенето става рязко повишаване на температурата (участък II на фиг. 184) за сметка на интензивното отделяне на топлина при съединение на окислителя и горивото или продуктите от тяхното разлагане, образуващи се в зоните на подготвителните процеси.

Тъй като температурата на горенето в ТеРД е много висока (няколко хиляди градуса), химическата реакция на горенето протича с много голяма скорост. Ето защо част от топливото, която в момента на започване на горенето е образувала горивна смес с приблизително благоприятен състав, бързо встъпва в реакция и дава значително повишаване на температурата. След това следва по-нататъшното смесване на навлезлите в реакция компоненти и изгарянето на образуващата се смес. Но сега скоростта на горенето се определя вече не от скоростта на протичане на химическата реакция, която поради високите температури протича практически мигновено, а от скоростта на механическото (турболентното) смесване на компонентите. На температурната крива това се явява във вид на бавно нарастване на температурата (участък III на фиг. 184).

По такъв начин общата продължителност на процеса на изгарянето се определя от скоростта на протичането на химическите реакции и от интензивността на механическото смесване на компонентите на топливото.

В зависимост от химическия състав на топливото и от конструкцията на горивната камера преобладаващо значение може да има както първият, така и вторият фактор, но във всеки случай интензивното

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

смесване на компонентите на топливото в топливната камера е задължително условие за достатъчно бързо и пълно изгаряне.

Действителният процес на горенето на топливото в ТеРД е значително по-сложен от описаната схема. Указаните явления се съпровождат с интензивен конвективен и лъчист топлообмен между газовия поток и стените. Химическата реакция на непосредственото окисляване на горивото с кислорода на окислителя се съпровожда с промеждутъчни реакции на разлагане на компонентите на топливото на прости молекули (O_2, N_2, NO, CO, H_2 и др.). Разпределението на скоростите, температурите и концентрациите във всяко сечение на газовата камера в действителност е твърде неравномерно и т. н.

Вследствие на неравномерното разпределение на окислителя и горивото по напречното сечение на горивната камера, а така също вследствие ограничения ѝ обем, известна част от горивото не успява да изгори вътре в камерата и доизгаря в соплото и даже вън от двигателя. Пълнотата на изгарянето на горивото в горивната камера в ТеРД се оценява с коефициента на пълнота на горенето ξ, който показва каква част от химическата енергия на горивото преминава в топлинна. Коефициентът ξ се определя въз основа на опитни данни и обикновено е равен на 0,8—0,9. Тъй като в горивната камера има много висока температура на газовете (2000—3500° абс.), горивният процес се съпровожда с дисоциация — разпадане на продуктите на горенето на отделни атоми или групи атоми. Това явление допълнително намалява количеството на отделящата се топлина. В резултат на това количеството отделяща се в горивната камера топлина съставлява само 70—80% от калоричната мощност на горивото.

В горивната камера на ТеРД се получава напълно определено и обикновено доста високо налягане — 20—30 *кг/см*², което зависи от количеството подадено гориво, от температурата и състава на газа в края на горивната камера (сечение *3* на фиг. 134), а така също от площта на тясното, критическото, сечение на соплото (сечение „*кр*“ на фиг. 184).

В реактивното сопло става разширяването на газа (увеличаване на относителния обем), съпровождащо се с намаляване на налягането и температурата му и с увеличаване скоростта на движението.

На изхода от соплото скоростта на газовете достига 2000—2500 *м/сек*, а налягането обикновено е равно на атмосферното налягане при земята или малко по-малко от него (при максимално налягане в камерата). Температурата на излизащите газове е равна на 1000—2000° абс.

При изменяне на налягането в горивната камера или налягането на окръжаващия въздух (височина на полета) налягането на изходното сечение на соплото може да стане различно от обкръжаващото. Във връзка с това се различават три режима на работа на соплото: а) разчетен — когато налягането в изходното сечение на соплото е равно на налягането в обкръжаващата среда, и б) режими на не-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

доразширение и преразширение (неразчетни режими), при които налягането в изходното сечение е съответно по-голямо или по-малко от окръжаващото.

Възможността за съществуване на неразчетни режими на работа на соплото на ТеРД се обяснява с това, че изтичането на газовете от него става със свръхзвукови скорости, когато смущението на външната среда не може да се предаде вътре в соплото. В този случай степента на разширяването на газа в соплото се определя единствено от съотношението на площите на изходното и критическото сечение, от състава на газа и от хидравличните загуби.

Ето защо в сопло с дадени размери налягането в изходното сечение се изменя пропорционално на налягането в горивната камера.

За сметка на изтичането на газовете от соплото с голяма скорост двигателят развива теглителна сила, която може да се изчисли (при работа на соплото на разчетен режим) по формулата

$$P=\frac{G}{g}c_4^*, \tag{68}$$

а на неразчетен режим

$$P=\frac{G}{g}c_4+F_4(p_4-p_H), \tag{69}$$

където G е секунден разход на топливото;

c_4 и p_4 — скорост и налягане на газа в изходното сечение на соплото;

F_4 — площ на изходното сечение на соплото;

p_H — налягане на обкръжаващата среда.

В някои случаи се взема така наречената ефективна скорост на изтичане c_5, която се определя от уравнението

$$\frac{G}{g}c_4+F_4(p_4-p_H)=\frac{G}{g}c_5.$$

Следователно теглителната сила на ТеРД на неразчетните режими може да бъде пресметната и по фомулата

$$P=\frac{G}{g}c_5. \tag{70}$$

При даден разход на топливото G максималната теглителна сила на двигателя ще се получи при такова сопло, което осигурява разширение на газа до атмосферното налягане, т. е. работи на разчетен режим.

Действително в сопло с площ на изходното сечение F_4', по-голяма от разчетната (фиг. 185), има участък, в който налягането е по-малко от атмосферното.

---

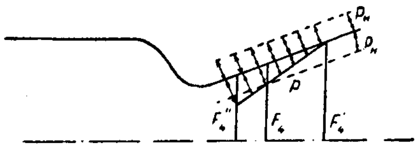
* Параметрите на газа в различните сечения на камерата на двигателя понататък ще се обозначават с индекси, съответстващи на обозначението на фиг. 184.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Силата, която действува на тоя участък на соплото, ще намалява теглителната сила на двигателя.

Сопло с площ F''_4, по-малка от разчетната, се получава от разчетното сопло чрез отделяне на участък от соплото, създаващ известна теглителна сила. По такъв начин теглителната сила на ТеРД с такова сопло ще бъде по-малка, отколкото при сопло, работещо на разчетен режим.



Фиг. 185. **Изменение на вътрешното и външното налягане в соплото**

Коефициенти на полезното действие на ТеРД

За оценка съвършенството на процесите на преобразуване на топлинната енергия на горивото в полезна теглителна работа се въвеждат коефициенти на полезното действие на ТеРД. Различават се три к. п. д. на течно-ракетния двигател: термичен, теглителен и пълен.

Термичен к. п. д. на течно-ракетния двигател се нарича отношението на кинетичната енергия, предадена на газа в двигателя, към топлотворната способност на горивото:

$$\eta_t = \frac{\frac{c_5^2}{2g}}{\frac{H_u}{A}}. \tag{71}$$

През време на преобразуването на топлинната енергия на горивото в кинетична се получават загуби. Най-важната от тях е загубата на топлина с излизащите от двигателя газове, която съставлява 30—40% от H_u. Освен това в горивната камера става непълно отделяне на топлината, съдържаща се във вид на химическа енергия в горивото, вследствие на непълното изгаряне и дисоциацията на продуктите на изгарянето. Тези загуби, както се каза по-горе, достигат до 20—30% от H_u. В резултат на това термичният к. п. д. на ТеРД се оказва равен на 0,3—0,4 (понякога малко по-голям).

Получената за сметка на работата на двигателя кинетична енергия на продуктите на горенето частично се използува за извършване на полезна теглителна работа (за преместване на летателния апарат) и частично се изхвърля с излизащите от двигателя газове и се губи. За оценяване на тези загуби се въвежда теглителен к. п. д.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Теглителен к. п. д. на ТеРД се нарича отношението на полезната теглителна работа към разполагаемата кинетична енергия:

$$\eta_P=\frac{Pc_0}{G\frac{c_5^2+c_0^2}{2g}}. \qquad (72)$$

Под разполагаема кинетична енергия се разбира сумата от кинетичната енергия на продуктите от горенето на изхода от двигателя и кинетичната енергия, получена от горивото за сметка на предшествуващата работа на двигателя (последната е равна на $G\frac{c_0^2}{2g}$).

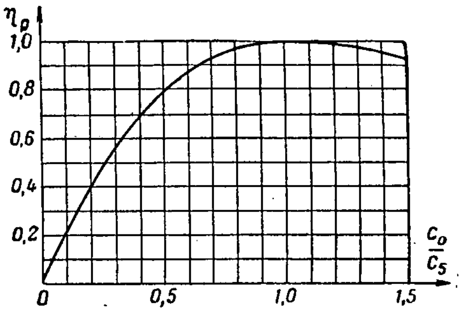
Ако изразът за теглителната сила (70) поставим в уравнение 72 и направим преобразование, ще получим

$$\eta_p=\frac{2\frac{c_0}{c_5}}{1+\left(\frac{c}{c_5}\right)^2}.$$

По такъв начин теглителният к. п. д. ще зависи само от отношението на скоростите $\frac{c_0}{c_5}$.

Зависимостта на η_p от $\frac{c_0}{c_5}$ е дадена във вид на график на фиг. 186. При съвременните максимални скорости на полета $\eta_p\approx 0{,}25$, т. е. има малко значение, което се обяснява с големите загуби на кинетична енергия с излизащите от двигателя газове. Величината на тази загубена енергия на 1 *кг* газ е равна на

$$\frac{(c_5-c_0)^2}{2g}.$$



Фиг. 186. График на зависимостта на теглителния к. п. д. от отношението на скоростите $\frac{c_0}{c_5}$

Пълен к. п. д. на ТеРД. За да се определи каква част от пълната енергия на топливото (топлинната енергия плюс кинетичната) се използува за извършване на полезна теглителна работа, се въвежда пълният к. п. д. на ТеРД:

$$\eta_п=\frac{Pc_0}{G\left(\frac{H_u}{A}+\frac{c_0^2}{2g}\right)}. \qquad (73)$$

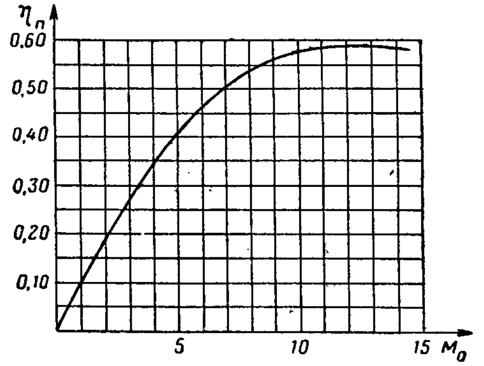
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

След преобразования ще получим

$$\eta_п=\frac{2\frac{c_0}{c_5}}{\frac{1}{\eta_t}+\left(\frac{c}{c_5}\right)^2}.$$

При максималните скорости на полета, достигнати досега, $\eta_п\approx 0{,}06\div 0{,}10$. По такъв начин пълният к. п. д. на ТеРД е засега много по-нисък, отколкото при **ТуРД**. Обаче на големи скорости на полета, съответствуващи приблизително на $M_0=10$, пълният к. п. д. на ТеРД може да стане равен на 0,55—0,60 (фиг. 187), което значително превишава пълния коефициент на полезното действие на съвременните ТуРД.



Фиг. 187. **График на зависимостта на пълния к. п. д. на ТеРД от числото M_0**

Основни параметри на ТеРД

Много важен параметър, който характеризира течния ракетен двигател, е величината на развиваната от него теглителна сила. Теглителната сила за реактивните двигатели е такъв важен параметър, както мощността за буталните двигатели, тъй като теглителната сила на реактивните двигатели в значително по-малка степен се изменя при изменение скоростта на полета, отколкото тяхната мощност. Това положение се оказва най-справедливо за течните ракетни двигатели, теглителната сила на които съвършено не зависи от скоростта на полета. Ето защо мощността на ТеРД се изменя пропорционално на скоростта на полета.

$$N=\frac{Fc_0}{75}[к.с.].$$

Следователно ТеРД не може да се характеризира с величината на развиваната от него мощност, докато величината на неговата теглителна сила дава представа за самия него.

Течно-ракетните двигатели могат да развиват теглителна сила

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

от няколко десетки и стотици килограма до няколко десетки тона. При това твърде положително свойство на ТеРД е това, че теглото на двигател с теглителна сила от няколко десетки тона се оказва напълно приемливо за летателни апарати.

Съвършенството на ТеРД от гледна точка на теглото се характеризира с неговото относително тегло, под което се разбира отношението на теглото на двигателната установка към теглителната сила на двигателя

$$\gamma_{дв}=\frac{G_{дв}}{P}.$$

Относителното тегло на съвременните ТеРД е значително по-малко от относителното тегло на всяка друга самолетна силова установка и достига приблизително $\gamma_{дв}=0{,}04\div0{,}12\ \frac{кг\ тегло}{кг\ тег.\ сила}$, където малките значения на относителното тегло се отнасят за двигатели с по-голяма теглителна сила.

Освен пълната теглителна сила за характеристика на ТеРД се въвежда и относителната теглителна сила $P_{отн}$, под която се разбира теглителна сила, получена от 1 *кг* разходвано гориво в секунда*:

$$P_{отн}=\frac{P}{G}[кг.\ сек/кг].$$

Значението на относителната теглителна сила на ТеРД се различава от значението на относителната теглителна сила на ВРД. Последната, както е известно, характеризира двигателя от гледна точка на неговите размери и тегло, защото от величината на относителната теглителна сила на ВРД зависи разходът на въздух, необходим за получаване на дадена пълна теглителна сила. Относителната теглителна сила на ТеРД характеризира неговата икономичност, тъй като тя определя величината на относителния разход на горивото на този двигател $C_{отн}$. Действително

$$C_{отн}=\frac{G\,3600}{P}=\frac{3600}{P_{отн}}.$$

По такъв начин колкото е по-голяма относителната теглителна сила на ТеРД, толкова по-малък ще бъде неговият относителен разход на гориво, т. е. толкова по-добра ще бъде икономичността му.

Съвременните ТеРД имат $P_{отн}=$ 200—250 *кг. сек/кг*, следователно относителният разход на горивото $C_{отн}=$ 14—18 *кг/кг. час*.

---

* При пресмятане на относителната теглителна сила на ТеРД трябва да се отчита разходът на горивото за привеждане в движение на ТПА, също и теглителната сила, създавана за сметка на изхвърляне масата на газа от турбината. Ние ще се ограничим само с разглеждането на относителната теглителна сила на камерата на ТеРД. За сметка на разхода на топливото за привеждане на ТПА относителната теглителна сила на двигателя на максимален режим на работа се намалява в сравнение с относителната теглителна сила на камерите с 3 — 5%.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Относителният разход на гориво на ТеРД се оказва значително по-голям, отколкото при ТуРД при дозвуковите и околозвуковите скорости на полета. Това е основната причина, която ограничава временно използването на ТеРД в авиацията. Големият относителен разход на топливо в ТеРД се обяснява първо с това, че самолетът с ТеРД трябва да бъде запасен не само с гориво, но и с окислител. В съответствие с това $C_{отн}$ се определя не само от горивото, както е при ТуРД, а от горивото и окислителя, разходът на който в двигателя обикновено значително превишава разхода на горивото. Освен това големият относителен разход се обяснява с това, че отношението на скоростта на изтичането на газовете от соплото на ТеРД към скоростта на полета (при съвременните скорости на полета) е твърде голямо и загубите на кинетична енергия с излизащите газове е също голяма (малък η_P).

С увеличаване на скоростта на полета c_0 загубата на кинетична енергия намалява. Ето защо при по-нататъшното увеличаване на скоростта на полета ТеРД ще намерят широко приложение в авиацията.

Относителната теглителна сила на ТеРД оказва съществено влияние върху далечината на полета на летателен апарат с такъв двигател. Действително на един и същ летателен апарат при даден запас от гориво два двигателя, имащи различна относителна теглителна сила, но еднаква пълна теглителна сила, ще работят различно време. По-продължително време ще работи двигателят с по-голяма относителна теглителна сила. Следователно и далечината на полета на летателния апарат с такъв двигател ще бъде по-голяма (при равни други условия).

Относителната теглителна сила на ТеРД на разчетен режим на работа може да бъде определена по формулата

$$P_{отн}=\frac{c_4}{g},$$

а на неразчетните режими по формулата

$$P_{отн}=\frac{c_4}{g}+\frac{F_4}{G}(p_4-p_H)=\frac{c_5}{g}.$$

Да разгледаме от какво зависи величината на относителната теглителна сила на ТеРД.

От израза за термичния к. п. д. (68) следва, че

$$P_{отн}=\sqrt{\frac{2}{Ag}H_u\eta_t}.$$

По такъв начин величината на $P_{отн}$ се определя от калоричността на употребяваното гориво и от термичния к. п. д.

Най-ефективно средство за увеличаване на $P_{отн}$ е увеличаването на калоричността на топливото. Обаче при това обикновено се увеличава и температурата на газа в камерата и с това се усложнява охлаждането на двигателя.

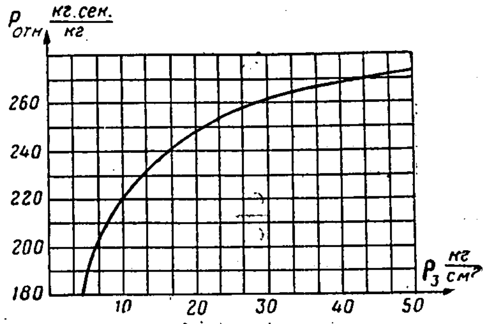
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Увеличаването на относителната теглителна сила на ТеРД е възможно също така посредством увеличаване на термичния к. п. д. на двигателя чрез повишаване пълнотата на отделяната топлина от горивната камера (постигане пълно изгаряне и намаляване на дисоциацията), увеличаване на степента на разширение на газа в соплото и намаляване на хидравличните съпротивления в камерата и преди всичко в соплото.

Във връзка с гореказаното $P_{отн}$ зависи от налягането в горивната камера.

На фиг. 188 е даден график на зависимостта на $P_{отн}$ от налягането в горивната камера p_3 за топливо, което се състои от течен кислород плюс 95-процентов етилов спирт, при пълно изгаряне и при $p_4 = p_H = 1$ *кг/см*^{2}. От фигурата следва, че с увеличаване на p_3 относителната теглителна сила нараства. Това се обяснява с намаляване на загубата на топлина в горивната камера от дисоциацията и подобряване използването на тази топлина за сметка на увеличаването на степента на разширение на газа в соплото. По такъв начин за увеличаване на $P_{отн}$ налягането в камерата е желателно да се увеличи. Но при избиране на p_3 трябва също да се вземе под внимание влиянието му върху теглото на двигателната установка и върху охлаждането на двигателя. С увеличаване на налягането в горивната камера съответно нараства и налягането на подаваното гориво, което води до увеличаване теглото на горивоподаващата система и теглото на цялата двигателна установка. Освен това увеличава се излъчването на топлина през стените и се затруднява охлаждането на двигателя. Ето защо в съвременните ТеРД налягането в камерата се подбира в казаните по-горе предели (20—30 *кг/см*^{2}).



Фиг. 188. График на зависимостта на относителната теглителна сила $P_{отн}$ от налягането в горивната камера p_3

Увеличаването на η_t и $P_{отн}$ може да се постигне също чрез специално профилиране на реактивното сопло, осигуряващо осева или близка до нея посока на потока на изхода от соплото.

Правилният избор на съотношението между окислител и гориво също позволява да се повиши величината на относителната теглителна сила. Съотношението между окислителя и горивото в ТеРД е прието да се характеризира с коефициента на излишния окислител α, под който се разбира отношението на действителното количество окислител, падащо се на 1 *кг* гориво, към теоретически необходимото количество за пълното изгаряне на 1 *кг* гориво. Както

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

показват опитите, максималната относителна теглителна сила се получава при $\alpha=0,7\div0,9$ (за използуваните сега топлива).

По-горе беше показано, че икономичността на ТеРД се характеризира с величината на неговата относителна теглителна сила. Във връзка с това ще се спрем на особената роля, която играят к. п. д. на течно-ракетните двигатели.

При обикновените използувани в ТеРД горива, както вече се каза, с нарастване на топлотворността нараства и температурата на газа в горивната камера. Това довежда до увеличаване на степента на дисоциация на продуктите на горенето и до намаляване на термичния к. п. д. Теглителният к. п. д. в този случай също се намалява (за сметка на намаляването на $\frac{c_0}{c_5}$, гледай фиг. 186). От това обаче не трябва да се прави извод, че е нецелесъобразно увеличаването на топлотворността на горивото, тъй като независимо от намаляването на η_t и η_p относителната теглителна сила на двигателя при това нараства, подобрява се неговата икономичност, увеличава се далечината на полета на летателния апарат. С намаляване на H_u се увеличава термичният к. п. д. и при съвременните скорости на полета нараства теглителният к. п. д. (вследствие увеличаването на отношението $\frac{c_1}{c_5}$ — за сметка на намаляването на c_5). Обаче относителната теглителна сила при това се намалява, т. е. влошава се икономичността на двигателя.

По такъв начин к. п. д. на течно-ракетните двигатели, работещи с горива с различна топлотворност, характеризира само съвършенството на отделните процеси в ТеРД, но не и икономичността на двигателя.

Топлива за ТеРД

За топливо за ТеРД могат да се използуват различни комбинации на окислител и гориво. Всяка конструкция на ТеРД е разчетена за използуване само на една комбинация.

Да разгледаме на какви условия трябва да отговаря топливото на ТеРД. Към топливото на ТеРД се предявяват твърде разностранни изисквания, основни от които са следните:

— висока топлотворност на топливото (сместа от окислител и гориво), тъй като от тая величина, както се каза по-горе, зависи $P_{отн}$, т. е. икономичността на двигателя;

— възможна по-ниска температура на горенето, тъй като това ще облекчи охлаждането на двигателя и ще намали загубите на топлина от дисоциацията;

— възможност за използуване на компонентите на топливото за охлаждане на горивната камера на двигателя.

Освен това компонентите на топливото за ТеРД трябва да имат удовлетворителни качества както от гледна точка на осигуряване

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

нормално протичане на работния процес в двигателя (възпламеняемост, скорост на горене и т. н.), така и от гледна точка на производство, съхраняване и експлоатация.

Топливото за ТеРД може да се състои от един течен компонент, от един течен и един твърд и от два и повече течни компонента. В повечето случаи за съвременните ТеРД се използува топливо, състоящо се от два течни компонента: гориво и окислител.

Топливата за ТеРД могат да бъдат самовъзпламеняващи се и несамовъзпламеняващи се. Самовъзпламеняващи се наричат тези топлива, компонентите на които при впръскване в горивната камера се възпламеняват вследствие възникващата химическа реакция (няколко стотни от секундата след съприкосновението им) и не е нужно каквото и да е допълнително запалване. Компонентите на несамовъзпламеняващото се топливо при съприкосновение не се възпламеняват (или се възпламеняват след продължително време) и затова се налага вътрешно запалване. На практика се използуват едните и другите топлива.

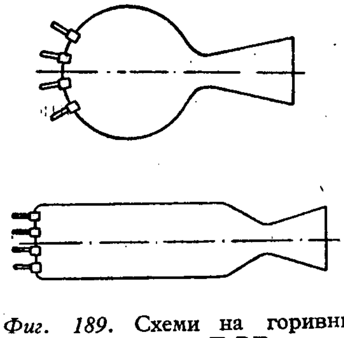
Особеностите на едното или другото топливо за ТеРД се определят преди всичко от окислителя, влизащ в състава му. Основни окислители, които намират приложение в ТеРД, са течният кислород, азотната киселина и водородният двуокис (водороден прекис).

Топлотворността на използуваните сега топлива за ТеРД достига приблизително 2300 *к. кал/кг.** Увеличаването на топлотворността на топливото е твърде желателно от гледна точка на повишаване относителната теглителна сила на двигателя. То може да се постигне както чрез подобряване на съществуващите, така и чрез използуване на нови окислители и горива.

Горивна камера на ТеРД

Горивната камера е основният работен елемент на ТеРД. Съвършенството на процесите, протичащи в нея, оказват решаващо влияние върху икономичността на двигателя.

Сега в ТеРД се използуват почти изключително правопоточни камери, в които общото движение на горивото от форсунките към соплото става през цялото време в една страна, без връщане. Най-често се срещат горивни камери с цилиндрична или сферична форма (фиг. 189). За осигуряване на висока пълнота на изгарянето на топливото в такива камери много голямо значение има качеството на първоначалното смесване



Фиг. 189. Схеми на горивни камери на ТеРД

* За сравнение трябва да се каже, че топлотворността на бензино-въздушната смес е само около 700 *к. кал/кг.*

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

на компонентите на топливото непосредствено след впръскването им в камерата. Качеството на смесването се определя преди всичко от броя и разположението на форсунките. Увеличаването на броя на форсунките се отразява положително върху пълнотата на изгарянето на топливото, тъй като се подобрява равномерността на разпределение на компонентите в сечението на камерите, намаляват се размерите на елементарните обеми на парите на окислителя и горивото, увеличава се площта на тяхното съприкосновение.

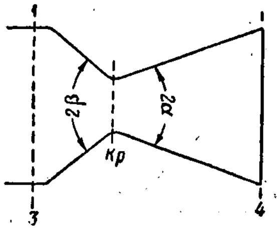
Ето защо големите ТеРД имат стотици форсунки. Практически по конструктивни съображения броят на форсунките е по-малък. Форсунките трябва да имат не много малки отверстия за избягване запушването им.

Разположението на форсунките за горивото и за окислителя трябва да осигурява най-добро смесване на двата компонента. Близко до стените на камерата се разполагат преди всичко форсунките за горивото с цел да бъдат предпазени стените от окисляване.

В ТеРД се използуват центробежни и струйни форсунки (прости отверстия). Струйните форсунки обикновено се използуват за самовъзпламеняващи се топлива (те осигуряват голяма площ на съприкосновение на горивото и окислителя в течна фаза и голяма пълнота на изгарянето).

Изтичане на газа в реактивното сопло на ТеРД

Реактивното сопло на ТеРД е предназначено за преобразуване на част от топлинната енергия на газовете в кинетична енергия на струята. Степента на разширяването на газа в реактивното сопло на ТеРД на всички работни режими значително превишава критическата степен* и следователно скоростта на изтичането на газа от соплото превишава скоростта на звука. Ето защо реактивното сопло на ТеРД всякога има стесняващ и разширяващ се участък, т. е. има формата на соплото на Лавал (фиг. 190).



Фиг 190. Схема на реактивното сопло на ТеРД по форма на соплото на Лавал

Входният (докритическият) и изходният (задкритическият) участък на соплото обикновено имат формата на конуси с праволинейни образуващи и с ъгли 2β и 2α (гледай фиг. 190).

Движението на газа в реактивното сопло на ТеРД освен от триене, каквото има във всички канали, се съпровожда и от редица допълнителни явления. Между потока на газа и стените на соплото става интензивен топлообмен, благодарение на което се губи известна част от топлината на газовете. В същото време изгарянето на топливо-

* Критическа се нарича такава степен на разширяване, при която на изхода от стесняващото се сопло се достига скорост на изтичане, равна на местната скорост на звука.

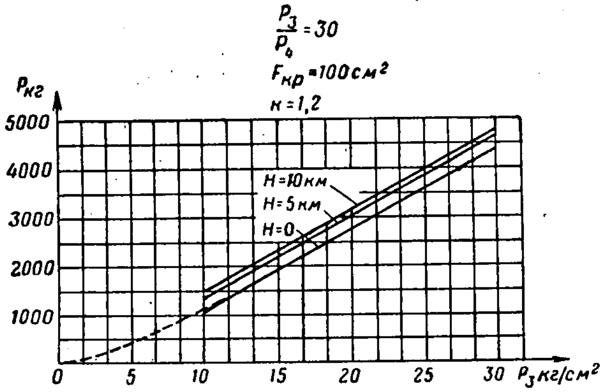
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

то не завършва в горивната камера, а продължава частично в соплото и се съпровожда с отделяне на топлина. Освен това понижаването на температурата довежда до намаляване на степента на дисоциация на газовете, до изменение на техния състав и подвеждане на топлина за сметка на асоциацията на молекулите.

Характеристики на ТеРД

Характеристики на ТеРД се наричат кривите на зависимостта на теглителната сила и относителната теглителна сила от скоростта и височината на полета, а също и от режима на работа на двигателя, който се характеризира от разхода на топливо или от налягането в камерата. Първите от тези характеристики се наричат скоростни, вторите — височинни, а третите — разходни.



Фиг. 191. Разходни характеристики на ТеРД

Тъй като процесите, протичащи в горивната камера и в реактивното сопло на ТеРД, не зависят от скоростта на полета, теглителната сила и относителната теглителна сила също не зависят от скоростта на полета. Ето защо ние ще разгледаме само височинните и разходните характеристики на ТеРД.

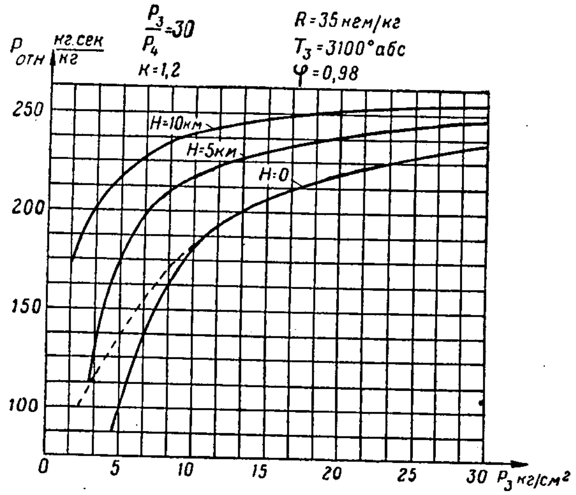
Височинните характеристики (зависимост на P и $P_{отн}$ от височината на полета) се построяват за различни постоянни значения на p_3 или G.

Разходните характеристики (характеристики на ТеРД по разхода на горивото) се построяват за различни постоянни значения на височината на полета. Те могат да бъдат построени, както се каза, по разхода на горивото и по налягането в камерата. Видът на характеристиките при това не се изменя, тъй като разходът на горивото може да се счита пропорционален на налягането в камерата. Тази пропорционалност се нарушава само при твърде силно увеличаване на разхода (предимно за сметка на влошаване на разпръскването на горивото и намаляването на пълнотата на неговото изгаряне).

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

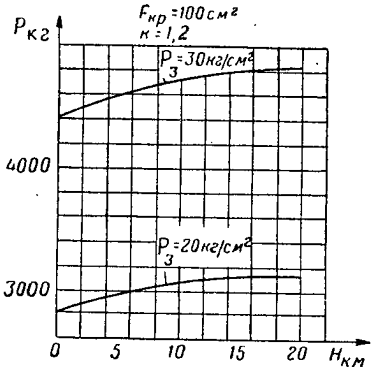
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

На фиг. 191—195 са дадени разходните и височинните характеристики на ТеРД, получени чрез изчисление. От фиг. 191 и 192 следва, че теглителната сила и относителната теглителна сила на двигателя се увеличават при увеличаване на налягането в горивната

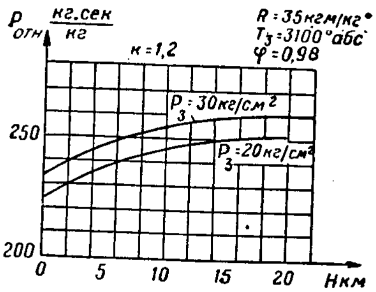


Фиг. 192. График на зависимостта на относителната теглителна сила на ТеРД от налягането в горивната камера

камера. При това относителната теглителна сила се увеличава за сметка на увеличаване скоростта на изтичането c_5, а общата теглителна сила — още и за сметка на увеличаването масата на отблъскваният газ.



Фиг. 193. Височинни характеристики на ТеРД



Фиг. 194. График на зависимостта на относителната теглителна сила на ТеРД от височината на полета

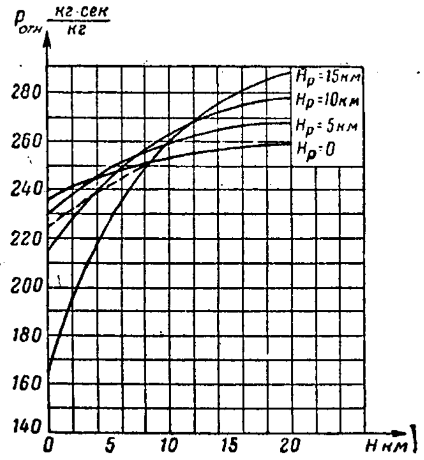
При намаляване налягането в камерата се намалява и налягането в реактивното сопло, поради което част от стената на соплото се

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

оказва в зона на разреждане, което намалява теглителната сила на двигателя. При известно намаление на p_3 в соплото настъпва откъсване на потока от стените. Откъсването на потока намалява площта на стените на соплото, намиращи се в зоната на разреждането, и увеличава теглителната сила на двигателя.

Участъците на разходните характеристики, изчислени с отчитане откъсването на потока, са показани на фиг. 191 и 192 с пунктир (приема се, че налягането върху стените на соплото в мястото на откъсването на потока $p_{отк}$ се равнява на 0,4 p_H, а налягането на стените на соплото зад мястото на откъсването е равно на атмосферното).



Фиг. 195. График на зависимостта на относителната теглителна сила на ТеРД (със сопла, разчетени за различни разчетни височини) от височината на полета

От фиг. 193 и 194 следва, че P и $P_{отн}$ на течно-ракетните двигатели при постоянен разход на топливо се увеличават с качване на височина. Това се обяснява с намаляване налягането върху външната повърхност на двигателя при неизменно разпределение на налягането по вътрешната повърхност.

Характерът на протичането (видът на кривите) на височинните характеристики на ТеРД зависи от разчетните височини на реактивните сопла, т. е. от височината на полета, на която соплата на двигателите работят на разчетния режим $p_4 = p_H$.

На фиг. 195 са дадени зависимостта на $P_{отн}$ на течно-ракетните двигатели, имащи реактивни сопла с различни разчетни височини, от височината на полета. От фигурата се вижда, че с увеличаване на разчетната височина относителната теглителна сила на двигателя на земята се намалява, а нарастването на същата с изкачване на височина става твърде интензивно.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

При построяване на височинните характеристики на ТеРД със сопла, разчетени за височина, превишаваща 5 *км*, трябва да се има предвид, че на земята и на малки височини в соплото може да се наблюдава откъсване на потока, което подобрява характеристиката на двигателя. С пунктир на фиг. 195 е показан участък от височинната характеристика на ТеРД, като е взето предвид откъсването на потока. Както се вижда от фигурата, откъсването на потока значително подобрява характеристиката на ТеРД.

От фиг. 193—195 следва, че височинните характеристики на ТеРД са по-благоприятни, отколкото при другите авиационни двигатели, тъй като теглителната им сила с изкачване на височина не само не намалява, а даже расте.

По такъв начин ТеРД е не само двигател за получаване на големи скорости на полета, но и за полети на големи височини.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

СЪДЪРЖАНИЕ

Стр.

Предговор 3
Основни обозначения 5
Обща характеристика на реактивните двигатели 7
Обща характеристика на авиационните лопатъчни машини 24
Процес на сгъстяване на въздуха в центробежния компресор на ТуРД . . . 36
Движение на въздуха в елементите на центробежния компресор на ТуРД 47
Устройство и работа на осевия компресор 59
Характеристики на компресорите и тяхното регулиране 77
Устройство и работа на авиационната газова турбина 116
Характеристики на авиационната газова турбина 128
Работен процес в турбо-реактивния двигател 146
Теглителна сила, к. п. д. и топлинен баланс на ТуРД 156
Зависимост на относителната теглителна сила и относителния разход на горивото на ТуРД от параметрите на работния процес 163
Горивен процес в ТуРД 177
Характеристики на турбо-реактивните двигатели 186
Форсиране на турбо-реактивните двигатели 225
Характеристики на ТуРД при неустановени режими на работа 235
Турбо-витлови двигатели 250
Зависимост на работата и относителния разход на гориво на ТВД от степента на сгъстяване и от температурата на газа пред турбината . . 258
Характеристики на турбо-витловия двигател 266
Правопоточни въздушно-реактивни двигатели 276
Работен процес и характеристики на ракетните двигатели с течно гориво и течен окислител (течно-ракетни двигатели ТеРД) 288

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ТЕОРИЯ НА РЕАКТИВНИТЕ ДВИГАТЕЛИ
Превел от руски: А. Геловски
Редактор: Н. Ловджиев
Техн. редактор: Д. Панайотов Коректор: Е. Прохаскова

Дадена за печат на 14. XI. 1956 г. Формат 8° от 65/92
Издателски коли 19·25 Кн. тяло 17·35 лв. Печатни коли 19·25
Издателска поръчка № 946 Подв. 2·30 лв. Техническа поръчка № 367

Печатница на Държавното военно издателство при МНО — София

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Забелязани грешки

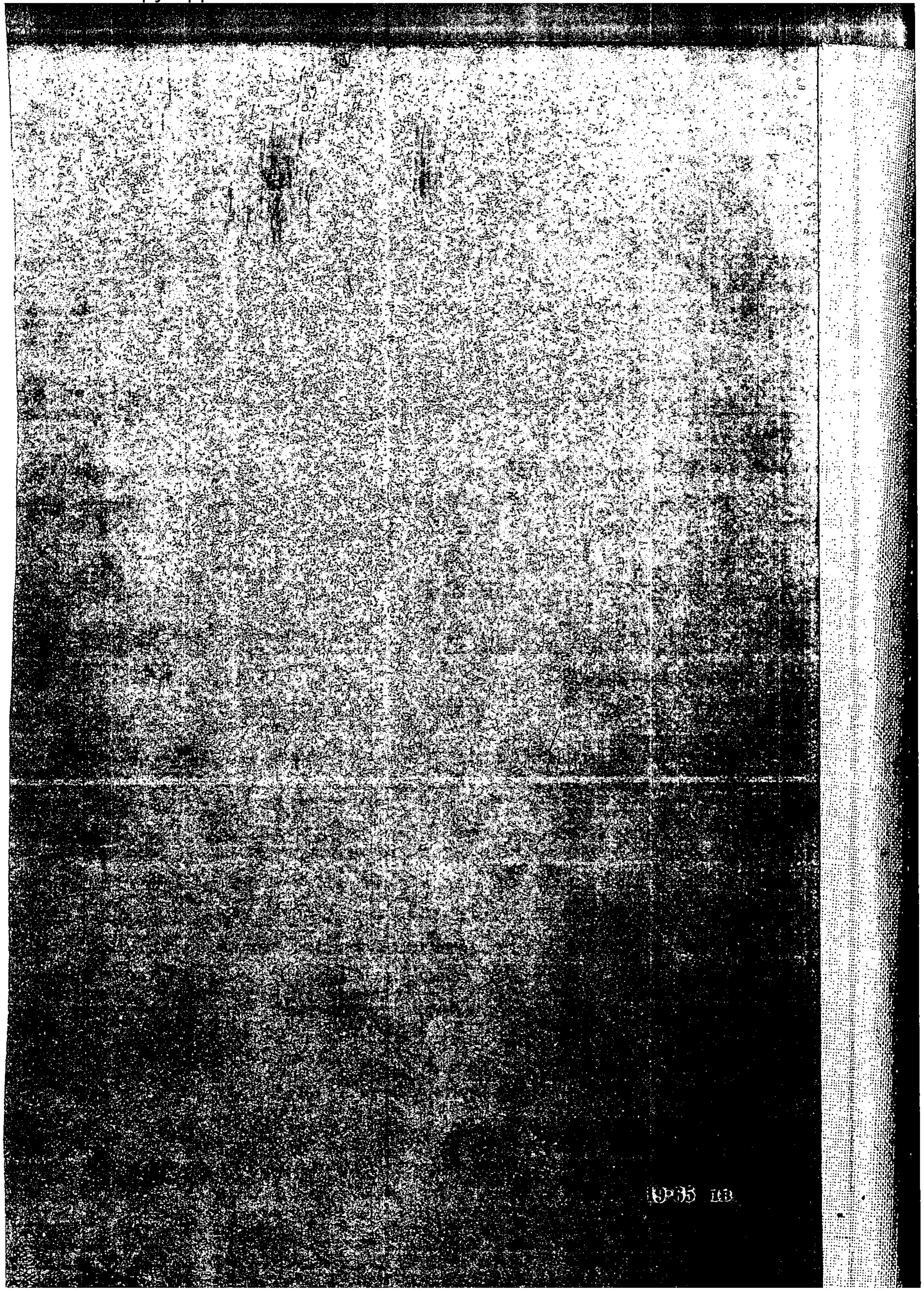
Стр	Ред	Напечатано	Да се чете
31	24 отгоре	изпъкнатите	вдлъбнатите
31	26 отгоре	вдлъбнатите	изпъкналите
39	7 отдолу	$\frac{c_4^2}{g}+\frac{c_p}{A}T_4$	$\frac{c_4^2}{2g}+\frac{c_p}{A}T_4$
40	12 отгоре	да нарушава в уравнението	да нарушава уравнението
120	8 отгоре	и към загуби в тях	и загубите в тях
124	16 отдолу	загуби в турбината и в к. п.д.	загуби в турбината и к. п. д.
229	14 отгоре	$\frac{P_{оф}}{P_о}\sqrt{1,7}\approx 1,3$	$\frac{P_{оф}}{P_о}=\sqrt{1,7}\simeq 1,3$
255	10 отгоре	$L_{т.р.}=c_0 P_{отн}=c_0=\frac{c_4-c_0}{g}$	$L_{т.р.}=c_0 P_{отн}=c_0\frac{c_4-c_0}{g}$
296	2 отгоре	$\eta_п=\frac{2\frac{c_0}{c_5}}{\frac{1}{\eta_t}+\left(\frac{c}{c_5}\right)^2}$	$\eta_п=\frac{2\frac{c_0}{c_5}}{\frac{1}{\eta_t}+\left(\frac{c_0}{c_5}\right)^2}$

Реактивни двигатели

STAT

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6



Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

STAT

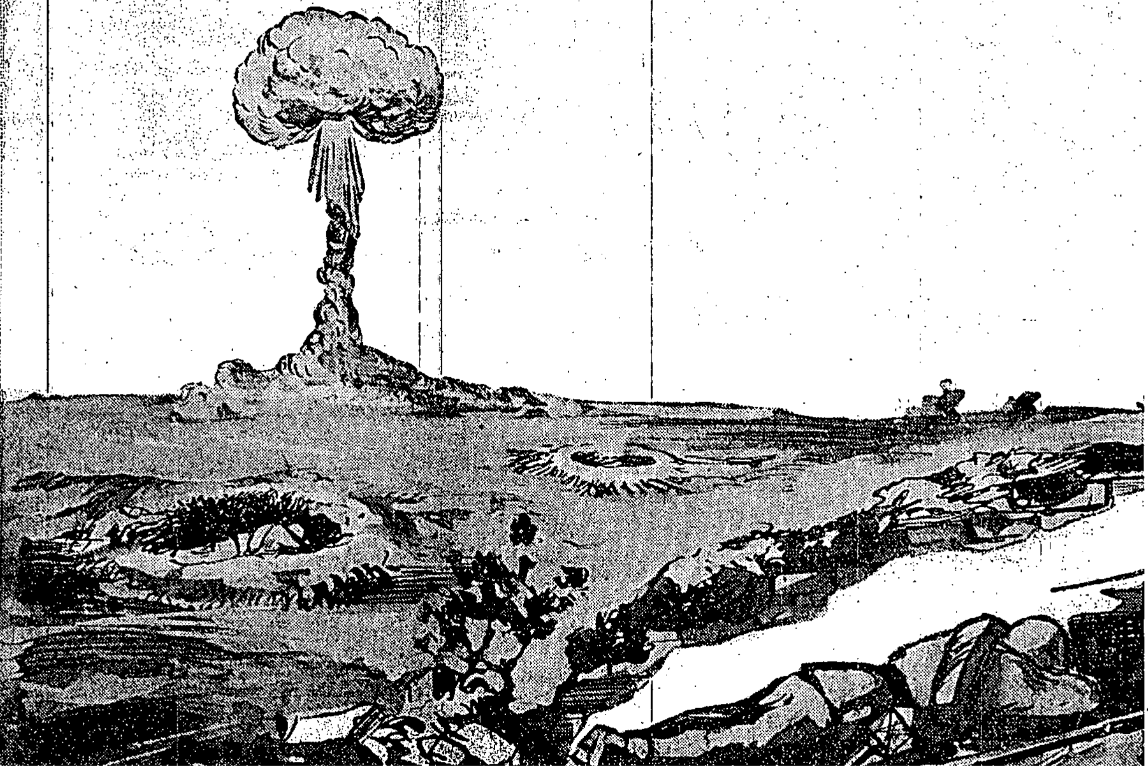
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

STAT

Н. КАШУКЕЕВ П. ПЕТКОВ

АТОМНО ОРЪЖИЕ И ПРОТИВОАТОМНА ЗАЩИТА



Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Н. КАШУКЕЕВ, П. ПЕТКОВ

АТОМНО ОРЪЖИЕ И ПРОТИВОАТОМНА ЗАЩИТА

1956
ДЪРЖАВНО ВОЕННО ИЗДАТЕЛСТВО ПРИ МНО

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ПРЕДГОВОР

Едно от най-големите постижения на човешкия гений е безспорно освобождаването на атомната енергия. Това велико откритие на науката създаде условия за решителен културен, икономически и социален прогрес на цялото човечество. Едновременно с това обаче беше създадено и атомното оръжие като средство за масово унищожение и разрушения. От края на Втората световна война, когато бяха употребени първите атомни бомби, въпросът за атомната опасност не е слизал от международната сцена.

От друга страна, пускането на първата атомна електростанция в СССР откри нова страница в културната история на човечеството. Създадоха се перспективи за широко приложение на атомната енергия за мирни цели, което би могло да доведе до издигане на жизненото равнище на хората и до истинско благоденствие. Атомната енергия с бързи крачки навлиза в живота и оказва все по-голямо влияние както върху съдбата на народите, така и на отделния човек. Поради това от въпросите, свързани с атомната енергия, атомното оръжие, противоатомната защита и мирното приложение на атомната енергия започват да се интересуват не само специалистите, но и обикновените граждани.

По тези въпроси у нас досега съществуваха само откъслечни публикации. Като взехме предвид това обстоятелство и нараснал ия интерес към проблемите, свързани с атомната енергия, счетохме за необходимо да дадем едно по-цялостно и по-систематично изложение на тези въпроси.

Държейки сметка за популярния характер на нашата книга, ние се ограничихме да дадем само най-необходимото, което представлява интерес за по-широк кръг читатели. Поради това, че много от данните, отнасящи се до атомните оръжия, противоатомната защита и свързаните с тях изследвания, които се публикуват в западния печат, имат пропаганден характер, а други се пазят в тайна, на цифровите сведения относно действието на атомното оръжие трябва да се гледа по-скоро като на ориентировъчни.

Надяваме се, че с настоящия труд ще помогнем на читателите да си изяснят редица въпроси, свързани с атомната енергия.

Авторите

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ФИЗИЧЕСКИ ОСНОВИ НА АТОМНОТО ОРЪЖИЕ

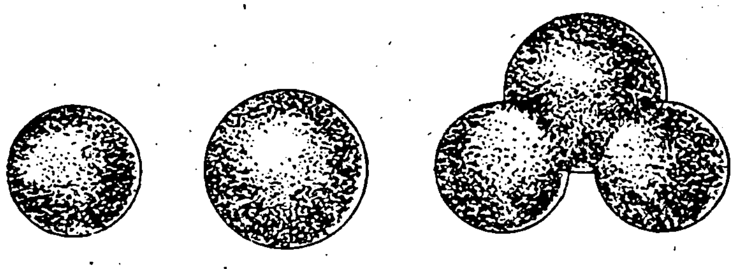
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

1. СТРОЕЖ НА ВЕЩЕСТВОТО. АТОМИ И МОЛЕКУЛИ

Всички тела в природата, колкото и разнообразни да са, могат да се разделят на две групи: сложни тела или съединения и прости тела или химически елементи. Към сложните тела се отнасят всички ония, които могат по обикновени химически или физически методи да бъдат разложени на по-прости. Например водата е сложно тяло, което чрез електролиза може да се разложи на водород и кислород. Към простите тела се отнасят всички тела, които не могат по химически път да се разделят на по-прости. Такива са например водородът, кислородът, желязото, медта, среброто, златото и пр.

Простите тела (химическите елементи) са изградени от много малки частички, наречени атоми. За различните химически елементи те са различни. От свързването на атомите по един или друг начин се получават най-малките съставни частички на различните вещества в природата — молекулите (фиг. 1).



1 2 3

Фиг. 1. Атоми и молекули:
1 и *2* — атоми на водорода и кислорода; *3* — молекула на водата

Размерите на молекулите и атомите са много малки и не могат да се видят с помощта и на най-усъвършенствуваните микроскопи. На дължина един милиметър могат да се наредят плътно една до друга около десет милиона молекули. Броят им в телата обаче е много голям. Така например, ако по същия начин подредим всичките молекули, които се съдържат само в един кубически сантиметър въздух, при нормални условия[1] ще се получи нишка, с която ще може да се опаше

[1] При налягане 760 мм живачен стълб и температура 0°С.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

земното кълбо 67 пъти. Ако се заемем с преброяването на тези молекули и отброяваме всяка секунда по 1000, трябва да броим непрекъснато в продължение на 850 милиона години.

Молекулите и атомите се намират в непрекъснато движение. Скоростта на движението на въздушните молекули при обикновени условия е няколкостотин метра в секунда.

Масите и теглата на различните видове атоми са различни. По абсолютна стойност те са много малки. За по-голямо удобство вместо с тях във физиката и химията се работи с така наречените атомни маси или атомни тегла. Те са пропорционални на масите и теглата на атомите, но са много по-големи от тях. Съвсем условно се приема, че атомното тегло или масата на кислородния атом се равнява на 16 единици. В този случай атомното тегло на водорода е 1·0080, на желязото — 55·85, на урана — 238·07 и пр. Чрез закръгляването на атомните тегла до най-близките цели числа се получават така наречените масови числа на елементите.

Известните досега химически елементи (на брой 100) са подредени в една стройна периодична система, предложена в 1869 г. от гениалния руски химик Д. И. Менделеев (вж. приложение 1). В нея елементите сэ подредени приблизително по възходящия ред на техните атомни тегла, като онези, чиито свойства са близки, са разположени един под друг и образуват групи или колони. Така подредените елементи бяха номерирани. Числата, които показват местата на елементите в периодичната система, се наричат поредни номера. По този начин всеки елемент се характеризира с атомното тегло и поредния си номер в периодичната система. Първият елемент е водородът с пореден номер 1, а последният — центурият с пореден номер 100.

Периодичната система на елементите е истински пътеводител при изучаване строежа на веществото и атома. Понататък ние често ще се обръщаме към нея.

2. СТРОЕЖ НА АТОМА

Атомите са неделими и неизменни по химически път. Поради това до края на миналия век се считаше, че те са най-простите (елементарни) частици, от които е изградено веществото.

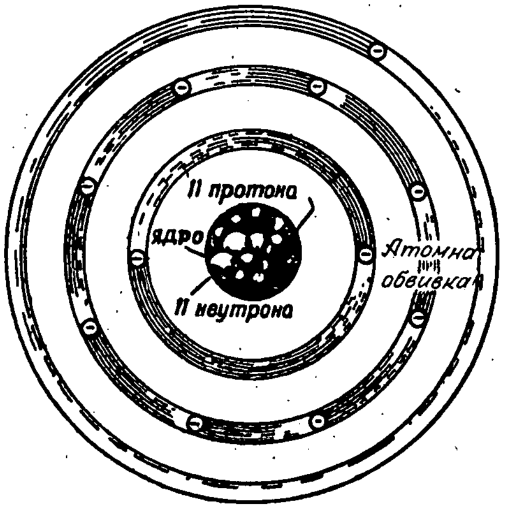
Бяха констатирани обаче редица факти (йонизация на газовете, катодни лъчи, външен фотоефект, естествена радиоактивност и др.), които показаха, че това схващане е неправилно. Изхождайки от тези факти, науката установи, че атомът не е проста неделима частичка. Той се състои от по-прости (елементарни) частички: е л е к т р о н и, п р о т о н и и н е у т р о н и. Електроните бяха открити най-рано. Оказа се, че те играят важна роля в електрическите явления. Те са отрицателно наелектризирани. Товарът им е един и същ и се явява като най-малката порция електричество, която се среща в природата,

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

наречена елементарен електрически товар. Електроните са 1840 пъти по-леки от водородния атом. Протоните са тежки, положително наелектризирани частици. Товарът им е равен по абсолютна стойност, но противен по знак на товара на електрона. Масата им е приблизително равна на масата на водородния атом. Масовото число на протона е единица. Неутроните имат почти същата маса както масата на протоните (масово число единица), но нямат никакъв електрически товар, т. е. те са електрически неутрални.

Според съвременните схващания в науката атомът се състои от атомно ядро и атомна обвивка (фиг. 2). Ядрото е изградено от протони и неутрони. То е положително наелектризирано и понеже се състои от тежки елементарни частички, в него е съсредоточена почти цялата маса на атома. Размерите му са от 10 до 100 хиляди пъти по-малки от размерите на самия атом. Ако си представим, че атомът нарасне колкото една голяма бъчва, ядрото му ще стане колкото една едва видима песъчинка, която обаче ще тежи няколко хиляди килограма.



Фиг. 2. Атомно ядро и атомна обвивка

Оказа се, че броят на протоните в ядрото е равен точно на поредния номер на елемента в периодичната система на Менделеев, а общият брой на протоните и неутроните определя масовото му число.

Електронната обвивка се състои от електрони, които са толкова на брой, колкото е броят на протоните в ядрото. Поради това отрицателният товар на обвивката е точно равен на положителния товар на ядрото и атомът като цяло е електрически неутрален. Електроните от обвивката се въртят с голяма скорост около ядрото по орбити, образуващи различни слоеве.

Електроните от най-външния слой определят химичните свойства на елемента. При свързването на атомите в молекули стават промени в движението и прегрупирване само на електроните от този слой. При тези свързвания става отделяне или поглъщане на енергия — енергия на химическите реакции. Такава е например топлината, отделена при горенето на въглищата, при експлозията на тротила и пр.

С откъсването на един или повече електрони от атомната обвивка атомът се превръща в положителен йон. Това явление се нарича

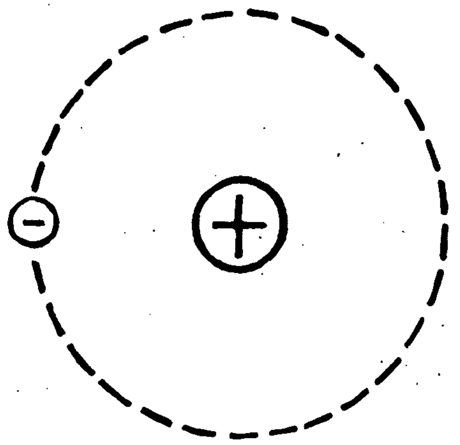
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

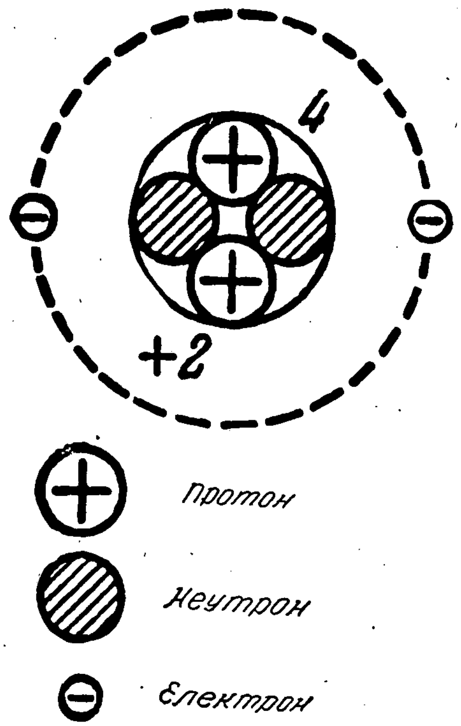
йонизация. Тя може да се предизвика при удар на атома с бързи частички (ускорени електрони, протони и др.) или при облъчването му с рентгенови, ултравиолетови или даже видими лъчи.

Енергията, която се изразходва за йонизирането на атомите, не е много голяма, понеже електроните, особено найвъншните, са слабо свързани в атоми.

От всички атоми най-просто устройство има атомът на



Фиг. 3. Строеж на водородния атом



Фиг. 4. Строеж на атома на хелия

водорода (фиг. 3). Ядрото му се състои от един протон, около който обикаля един единствен електрон. Атомът на втория елемент от периодичната система — хелия, има ядро, съставено от два протона и два неутрона, около което обикалят два електрона (фиг. 4). С увеличаване на поредния номер и атомното тегло на елемента строежът на неговите атоми се усложнява. Ако знаем обаче мястото на елемента в периодичната система, т. е. ако знаем поредния му номер и масовото му число, ще знаем и структурата на неговия атом[1]. Така например от периодичната система се вижда, че уранът има пореден номер 92, а масовото му число е 238. Въз основа на тези данни ние можем веднага да кажем,

[1] По-точно ще знаем структурата на атома на най-разпространения му изотоп. За изотопи вж. следващата точка.

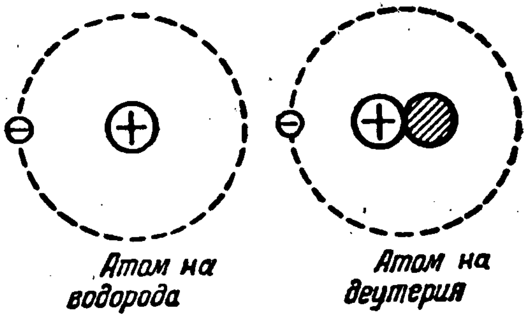
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

че ядрото на неговия атом се състои от 92 протона и 146 неутрона (разликата до 238). Около това сложно ядро обикалят 92 електрона, които точно компенсират положителния му товар.

3. ИЗОТОПИ

Ако се измени броят на неутроните в ядрото на един атом, а броят на протоните остане същият, електронната обвивка на атома също не се променя, следователно химическите свойства и природата на елемента остават същите. Новополученият атом ще принадлежи на същия химически елемент, но ще се различава от изходния по своята маса. Това показва, че е възможно да съществуват по няколко разновидности от един и същ елемент, които имат еднакви свойства, но имат различни атомни тегла. Те се наричат **изотопи**[1], понеже, имайки еднакъв пореден номер, заемат едно и също място в периодичната система. Оказа се, че повечето от химическите елементи представляват смеси от по няколко изотопа. Така например водородът има 2 изотопа: лек или обикновен водород с атомно тегло 1 и тежък водород или деутерий с атомно тегло 2 (фиг. 5). Кислородът се състои от три изотопа, живакът от седем и т. н. Най-тежкият елемент в природата (уранът) се състои също от три изотопа с атомни тегла, приблизително равни на 238, 235 и 234.



Фиг. 5. Изотопи на водорода

Прието е различните изотопи на елементите да се означават с химическия знак на елемента, на който в горния десен ъгъл се пише атомното тегло, а в долния десен ъгъл — поредният номер на елемента. Така например химическият знак на урана е U, а на урановия изотоп с атомно тегло 238 — U^{238}_{92}, където индексът 92 означава поредния номер на урана.

Различните изотопи имат различно разпространение в природата. Така например 99·98% от водорода на природната вода е лек водород, а 0·02% — тежък, под формата на тежка вода[2].

---

[1] Изотопи на гръцки значи заемащи едно и също място.

[2] Тежката вода е съединение на дуетерия с лекия изотоп на кислорода, съвсем аналогично на обикновената вода, т. е. с отношение на атомите в молекулата 2:1.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

4. ЯДРЕНИ СИЛИ И ЯДРЕНА ЕНЕРГИЯ

Между частиците, които влизат в състава на атомното ядро — протони и неутрони, действуват огромни сили на привличане, наречени ядрени сили. Природата на тези сили още не е напълно изяснена. Знае се обаче с положителност, че те не са от електростатистически произход. Те действуват както между два протона или между два неутрона, така и между протон и неутрон и не зависят от присъствието или отсъствието на електрически товар в ядрените частички. Ядрените сили се характеризират още и с това, че действуват на разстояния, приблизително равни на радиуса на самите ядрени частици. Образно казано, те действуват само между „допиращите" се една до друга частици. Освен това друга тяхна особеност е тази, че се насищат. Това значи, че една ядрена частичка може да се свърже само с определен брой други ядрени частички, които са нейни непосредствени съседи. Прибавянето в ядрото на други, по-далече разположени частици не влияе на нейните връзки. Поради това плътността на ядреното вещество около тази частица не зависи от големината на ядрото. Следователно тя е една и съща както за цялото ядро, така и за всички ядра, независимо от техния състав и големина. Подобно свойство имат водните капки. Кохезионните сили[1] във водната капка, също както ядрените сили, имат ограничен радиус на действие. Плътността на водата в капката е еднаква за всички водни капки, независимо от големината им. Тази аналогия на атомното ядро с водната капка, макар и само външна, се оказа много плодотворна. С капковидния модел на ядрото бяха дадени физически верни тълкувания на редица явления в ядрената физика.

Както при кондензацията на водната пара и превръщането ѝ във водни капки се отделя кондензационна топлина, така при свързването на протоните и неутроните в атомни ядра се освобождава енергия, наречена енергия на свързването. Съответно на огромните ядрени сили енергията на свързването на ядрата е няколко десетки милиона пъти по-голяма от кондензационната енергия на водата.

На всяко атомно ядро отговаря напълно определена енергия на свързването. За различните атомни ядра тя е различна. Следователно всяко изменение в състава на атомното ядро води до изменение на енергията на свързването. Това става чрез отделяне или поглъщане на енергия. Енергията, която се отделя при някои ядрени реакции, е равна на разликата от енергиите на свързването на изходните и получените ядра. Тази енергия ние наричаме атомна или ядрена енергия. Следователно, ако знаем енергията на свързването на различните атомни ядра, ще знаем кои ядрени превръщания водят до освобождаване на ядрена енергия, т. е. ще познаваме пътищата, които могат да ни доведат до намирането на нови ядрени горива.

Но как може да се узнае каква е енергията на свързването на различните елементи?

---

[1] Силите, които действуват между молекулите на едно тяло.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Съгласно всеобщия закон за взаимната връзка между маса и енергия на всяка промяна на енергията съответствува изменение на масата. Измененията на масата са нищожно малки спрямо измененията на енергията, понеже големината им се определя от последните чрез разделянето им на скоростта на светлината (300,000 км/сек.) в квадрат. Поради това при кондензацията на водната пара и при обикновените химически реакции измененията на масите са неизмеримо малки. При тях е в сила законът за запазване на масите. Колкото е масата на изходните продукти, толкова е масата на крайните (колкото е масата на водната пара, толкова е масата на получената от нея вода). Съвсем друго е положението при образуването на атомните ядра. Енергията на свързването на ядрата е много по-голяма. Поради това на нея ще отговаря измеримо намаление на масата. Следователно масата на полученото ядро ще бъде по-малка от сумата на масите на протоните и неутроните, от които то е образувано. Законът за масите тук е в сила само ако се държи сметка за масата, съответствуваща на освободената енергия на свързването.

Действително такава разлика в масите на ядрата и образуващите ги частички съществува. Тя се нарича д е ф е к т н а м а с и т е или м а с о в д е ф е к т. Така например масовият дефект за ядрото на хелия е 0·03136, за ядрото на литий 6 — 0·03584 и т. н. Масовият дефект, умножен на скоростта на светлината в квадрат, ще ни даде енергията на свързването. Следователно, ако знаем точните атомни маси на различните изотопи и състава на техните ядра, ще познаваме и съответните им енергии на свързването.

Енергията на свързването на ядрото, разделена на броя на частичките, от които то е изградено, ни дава средната енергия на свързването на една ядрена частица. Тя се равнява на енергията, освободена при свързването на една ядрена частица, или обратно — на работата, която трябва да се извърши за отделянето на една такава частица от ядрото. Колкото по-голяма е средната енергия на свързването на частиците в ядрото, толкова по-устойчиво е самото ядро.

Средната енергия на свързването на ядрените частици зависи по един сложен начин от атомното тегло на елемента (фиг. 6). Отначало тя расте бързо (с известни колебания), а после по-бавно, като за елементи с атомно тегло около 107 (сребро) достига максимална стойност, след което бавно, почти равномерно пада. Следователно най-устойчиви са ядрата на елементите със средни атомни тегла. Леките и тежки ядра са по-устойчиви. Поради това както превръщането на тежките ядра в по-леки, така и свързването на най-леките ядра в по-тежки е съпроводено с отделяне на ядрена (атомна) енергия.

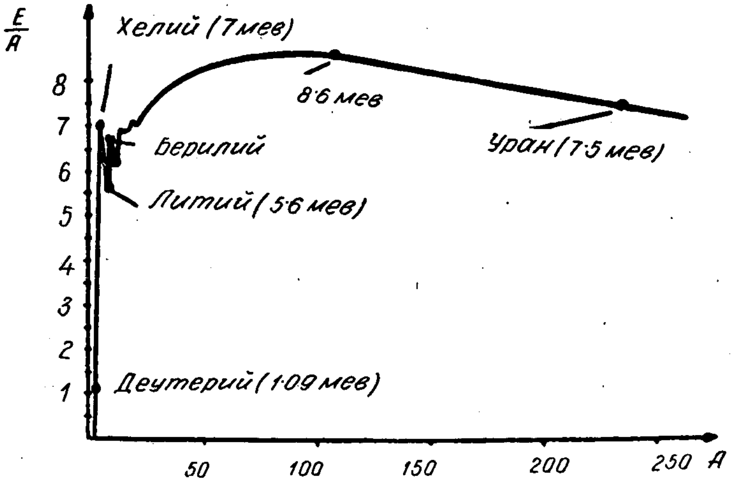
Стабилността на ядрата зависи от отношението между броя на неутроните и протоните в тях. За леките елементи това отношение е близко до единица, а за по-тежките постепенно нараства и стига до 1·6. Големи отклонения от тези стойности не са възможни. Ако някои ядрени превръщания водят до образуване на ядро с друго отношение между неутроните и протоните, много различно от горните стойности, то мигновено се разпада, преди да се е образувало. Ако отклонението

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

от това отношение не е много голямо, ядрото може да се образува, но след време самоволно се разпада. Това явление е известно под името и з к у с т в е н а р а д и о а к т и в н о с т.

Стабилността на ядрата зависи също така от разликата в големините на ядрените сили, които задържат ядрените частички в ядрото, и електростатичното отблъскване между протоните, влизащи в неговия състав. Общо взето, при всички ядра ядрените сили са по-големи.



Фиг. 6

Поради това ядрата съществуват и са много устойчиви на външни въздействия. При леките елементи броят на протоните в ядрата е малък и превесът на ядрените сили над електростатичните е много голям. Затова и ядрата им са много устойчиви. С увеличаване на атомното тегло и поредния номер на елементите обаче картината се променя. Докато ядрените сили действуват само между съседните една на друга частички в ядрото, а на по-далечните не оказват никакво влияние, електрическите сили действуват както между съседните, така и между всички останали протони в ядрото. В резултат на това с увеличаване на неутроните и протоните в ядрото ядрените сили почти не се променят, а електричното отблъсване между протоните расте. При най-тежките ядра, които съдържат повече от 83 протона, отблъсквателните сили почти се изравняват с ядрените сили и тези ядра стават толкова нестабилни, че започват самоволно да се разпадат. Това явление се нарича е с т е с т в е н а р а д и о а к т и в н о с т.

5. ЕСТЕСТВЕНА РАДИОАКТИВНОСТ

Освобождаване на атомна енергия беше наблюдавано за първи път при естествената радиоактивност, открита в 1896 г. от френския физик А. Бекерел и изследвана подробно от съпрузите Мария и Пиер Кюри.

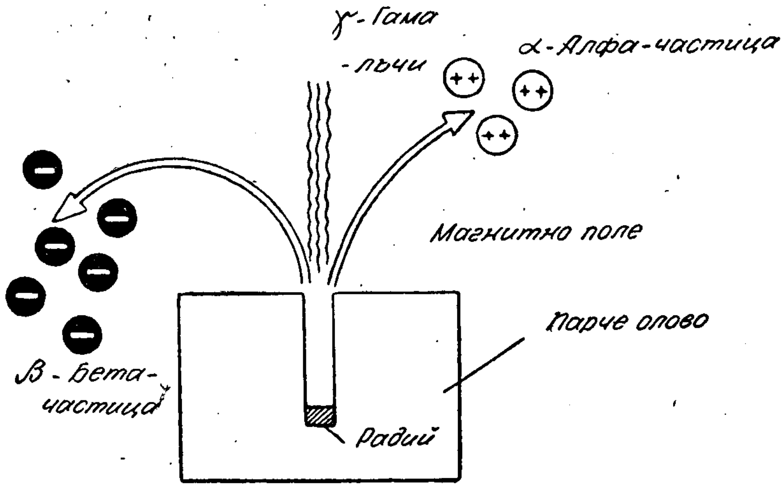
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Тя представлява самоволно превръщане ядрата на някои елементи в ядра на други елементи, което е съпроводено с излъчване на алфа- бета- и гама-лъчи. Тези излъчвания могат да бъдат разделени с помощта на силно магнитно поле (фиг. 7).

Алфа-лъчите се излъчват само от тежките радиоактивни елементи. Те представляват поток от хелиеви ядра, които се движат със скорост до 20 хиляди километра в секунда, бета-лъчите представляват поток от електрони, чиито скорости са близки до скоростта на светлината — 300 хиляди километра в секунда, а гама-лъчите са електромагнитно лъчение, подобно на рентгеновите лъчи, но с по-малка дължина на вълната.

И трите вида лъчи предизвикват йонизация на материалната среда, през която минават. Най-силно е йонизиращото действие на алфа-частиците. Всяка една алфа-частичка при преминаването си през въздуха създава около 30 хиляди чифта йони на един сантиметър от своя път. Поради това нейната енергия бързо се изразходва и пътят или пробегът ѝ в различните вещества е сравнително малък. За въздуха той е от 8 до 10 см, за алуминия — около 0·05 мм и пр. Обикновен лист хартия е напълно достатъчен за пълното задържане на алфа-лъчите.



Фиг. 7. Разделяне на радиоактивните лъчения

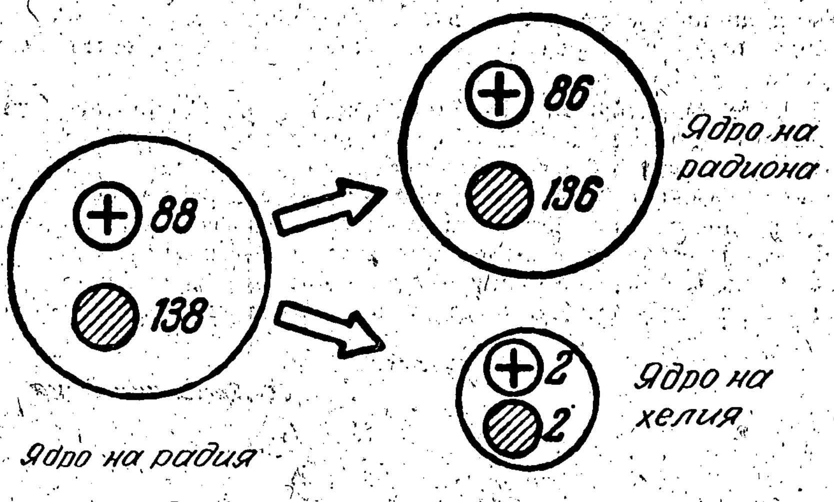
Бета-частиците имат около 100 пъти по-слаба йонизационна способност, отколкото алфа-частиците. Съответно на това и техният пробег е по-голям. Най-бързите от тях имат във въздуха пробег до 20 м, във водата — 2·6 см, в оловото — 0·3 см. Още по-малка йонизационна способност имат гама-лъчите. Поради това поглъщането им от различните вещества е много слабо. Колкото по-малка е дължината на вълната им, толкова по-голяма е проникващата им способност. Обикновено тя се характеризира с дебелината на различни материални пре-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

гради (обикновено оловни), които я отслабват наполовина. Средно взето, гама-лъчението отслабва наполовина при преминаване през слой олово 1·5—1·8 см дебелина или желязо 2—3 см, алуминий 6—7 см, бетон 7—10 см, земя (пръст) 10—15 см или въздух около 150 м.

Колкото по-плътна е материалната преграда, толкова по-голяма е нейната поглъщателна (защитна) способност срещу радиоактивните излъчвания.



Фиг. 8. Разпадане на радия на радон и хелий

Радиоактивните излъчвания, когато надминат определени граници, оказват вредно физиологично действие върху живите организми. В по-големи дози те могат да бъдат и опасни. При преминаването си през живата тъкан радиоактивните лъчения йонизират атомите и разбиват молекулите, които влизат в нейния състав. Вследствие на това някои от живите клетки се разрушават. Изменят се нормалните условия, в които протичат жизнените процеси, и се разстройва целият организъм.

Под тяхно действие фотографическата плака потъмнява.

Радиоактивните излъчвания се явяват като резултат на радиоактивните превръщания на атомните ядра. При излъчването на една алфа-частица излъчващото ядро загубва два положителни товара и четири масови единици и се превръща в ядро на нов елемент, чието атомно тегло е по-малко с четири единици, а поредният му номер е по-малък с две единици. Така например от радия, който е алкалоземен метал с атомно тегло 226 и пореден номер 88, чрез излъчване на алфа-частици се получава радон или радиева еманация, която е тежък благороден газ с атомно тегло 222 и пореден номер 86 (фиг. 8). При излъчването на бета-частици се получава нов елемент, практически със същото атомно тегло, но с пореден номер с единица по-голям от

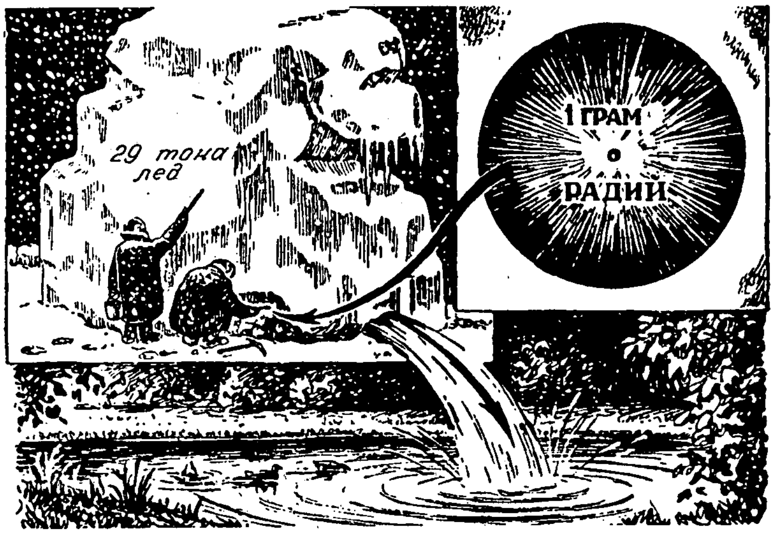
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

поредния номер на изходния елемент (един неутрон от излъчващото ядро се превръща в протон).

Получените при радиоактивните превръщания елементи могат да се окажат също радиоактивни и самоволно да се превръщат в други елементи и т. н. В такъв случай се получава редица от радиоактивни елементи, превръщащи се един в друг, които образуват едно радиоактивно семейство. Досега са известни четири такива семейства: ураново, актиниево, ториево и нептуниево.

Радиоактивното превръщане (разпадане) на елементите се извършва със строго определена скорост, различна за различните елементи. Тя се характеризира с времето, за което дадено количество вещество се разпада наполовина, наречено време или период на полуразпадането. Периодът на полуразпадането на даден радиоактивен изотоп е строго постоянен и не се влияе от външни въздействия (налягане, температура и пр.). За различните радиоактивни елементи той се мени в много широки граници. Например за уран 238 е 4·5 милиарда години, а за торий C′ е 3 десетомилионни части от секундата.



Фиг. 9

При радиоактивните превръщания се отделя голямо количество енергия. Така например при пълното превръщане на един грам радий в радон и хелий се отделя толкова много топлина, че с нея биха могли да се разтопят 29 тона лед (фиг. 9). Тази топлина обаче не може да се използува за практически нужди, понеже отделянето ѝ става много бавно — за 1600 години се отделя само половината от нея. С отделената от един грам радий топлина за един час може да се повиши температурата на 100 грама вода само на 1·4°C. От друга страна, естествените

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

радиоактивни елементи с къси периоди на полуразпадане се срещат в природата в нищожни количества.

Поради тези причини естествените радиоактивни елементи не могат да се използуват като източници на атомна енергия.

6. ИЗМЕРВАНЕ НА РАДИОАКТИВНОСТТА И РАДИОАКТИВНИТЕ ЛЪЧЕНИЯ

Количеството или активността на алфа-радиоактивните вещества се измерва в специални единици, наречени кюри. Това е такова количество радиоактивно вещество, което за една секунда излъчва 37 милиарда алфа-частици (колкото са алфа-частиците, излъчени за една секунда от един грам радий). Тази единица е много голяма, затова вместо нея на практика се използуват по-малките единици: милликюри, равна на една хилядна част от кюри, и микрокюри, равна на една милионна част от кюри.

Напоследък тези единици се употребяват за измерване активността и количеството на едно какво и да е радиоактивно вещество. Освен тях доста често се среща и единицата, наречена ръдърфорд. Един ръдърфорд е такова количество радиоактивно вещество, което за една секунда дава 1 милион разпадания. Следователно 1 миликюри се равнява на 37 ръдърфорда.

Трябва да се отбележи обаче, че ефектите, които предизвикват лъченията на две еднакви количества радиоактивни вещества (изразени в някои от тези единици), от които едното излъчва алфа-частици, а другото бета-частици или гама-лъчи, няма да бъдат еднакви. Тези ефекти зависят както от вида и количеството (дозата) на погълнатото радиоактивно лъчение, също така и от енергията и спектралния му състав.

Количеството или дозата на лъчението се измерва в рентгени. Един рентген е такава доза лъчение, което създава в един кубически сантиметър въздух при нормални условия 2·08 милиарда чифта еднократно заредени йони.

Тази единица за доза на лъчението отначало бе въведена за рентгеновото лъчение и за гама-излъчването, а по-късно бе разпространена и върху другите видове радиоактивни лъчения. Когато се касае за биологичните действия на различните видове радиоактивни лъчения, трябва да се помни, че еднакви физически дози от тези лъчения предизвикват различни биологически ефекти.

Мощта на дозата е равна на енергията, погълната от дадено тяло за единица време. Тя е пропорционална на интензитета на лъчението. Измерва се в рентгени за единица време (рентгенчас, рентгенминута, милирентгенсекунда и пр.). Следователно, ако се знае мощта на дозата и се умножи по времето, получава се погълнатата доза. Така например, ако дадена местност е радиоактивно заразена и степента на заразяването (мощта на дозата) е 5 рентгенчаса, дозата, която ще се получи при 6-часов престой в нея, е 30 рентгена.

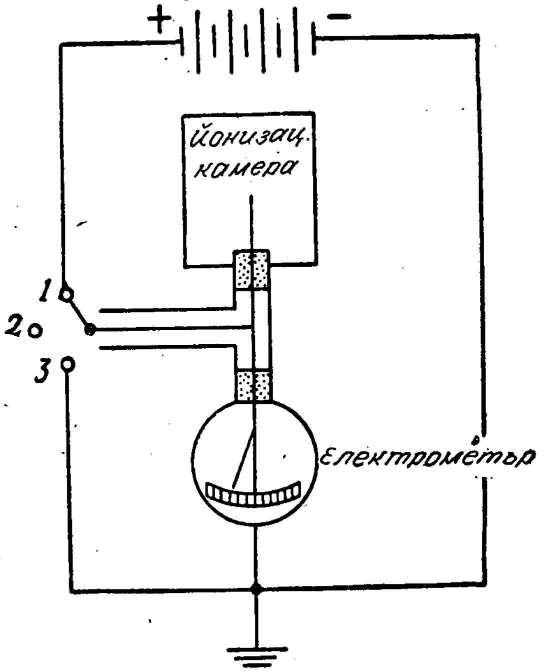
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Пределната допустима доза за систематично облъчване на цялото човешко тяло е 0·05 рентгена на ден.

Йонизацията е основно свойство на радиоактивните излъчвания. Тя се използува за тяхното откриване и измерване.

Най-простият уред, с който се измерва радиоактивното лъчение, е йонизационната камера (фиг. 10). Тя представлява затворена метална кутия, в която е поставен един изолиран електрод. Между кутията и електрода се прилага постоянно електрическо напрежение. При обикновени условия газът, който изпълва кутията, е много добър изолатор и между електрода и кутията не протича електрически ток. Под действието на радиоактивните излъчвания газът се йонизира и става проводник на електрическия ток. При подходящо избрана стойност на напрежението токът, който протича, е пропорционален на броя на йоните, създадени в камерата за единица време. Това ни дава възможност посредством силата на тока да измерваме интензитета на радиоактивното лъчение. Йонизационните токове обаче са много слаби и за тяхното измерване са необходими или много чувствителни инструменти-електромери, или предварително усилване с помощта на усилватели с електронни лампи.



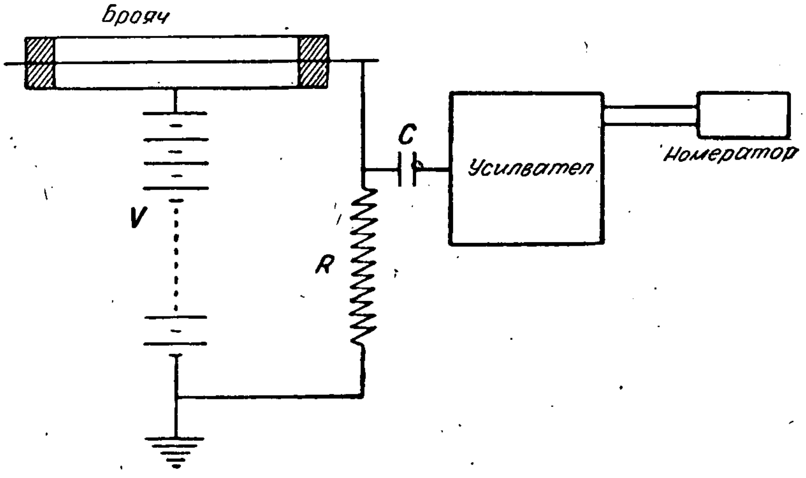
Фиг. 10. Схема на йонизационна камера

Друг начин за усилване на слабите йонизационни токове се използува при така наречените броячи на частички (фиг. 11). При тях отрицателният електрод обикновено се прави под формата на цилиндър с диаметър няколко сантиметра, а положителният електрод е жица, опъната по оста на цилиндъра. Между тях, за разлика от йонизационната камера, се прилага значително по-високо напрежение — над хиляда волта. Вследствие на това около анода на брояча (жицата) се създава силно електрическо поле. Образуваните от първоначалната йонизация свободни електрони, движейки се по посока на анода, придобиват голяма енергия и сами започват да йонизират молекулите на газа. Новообразуваните вторични електрони също се ускоряват

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

до такава степен, че предизвикват йонизация, и т. н., получава се електронна лавина. Вследствие на това йонизационният ток, създаден от една отделна частица, преминала през брояча, се усилва стотици милиони пъти и може да бъде регистриран с подходяща електронна уредба. Йонизационните камери и броячи, пригодени за измерване на различните видове радиоактивни лъчи, имат свои особености, на които няма да се спираме.



Фиг. 11. Схема на Гайгер-Мюлеров брояч на частици

Напоследък все по-широко употребление добиват така наречените сцинтилационни броячи. В тях за регистрирането на йонизиращите частици се използуват светлинните импулси (сцинтилациите), които те предизвикват при преминаването си през някои кристали. Тези светлинни импулси се регистрират с помощта на фотоумножители и електронни уредби.

Радиоактивните излъчвания могат да се измерват и с почерняването, което предизвикват на фотографичната плака. Работещите в предприятия и институти, където се работи с радиоактивни вещества, носят в себе си малки фотографични плаки или хартийки, които след завършване на работния ден или седмица се проявяват. По степента на почерняването им се съди за дозата от радиоактивни лъчения. За същата цел се употребяват и малки джобни йонизационни камерки с размери на автоматична писалка.

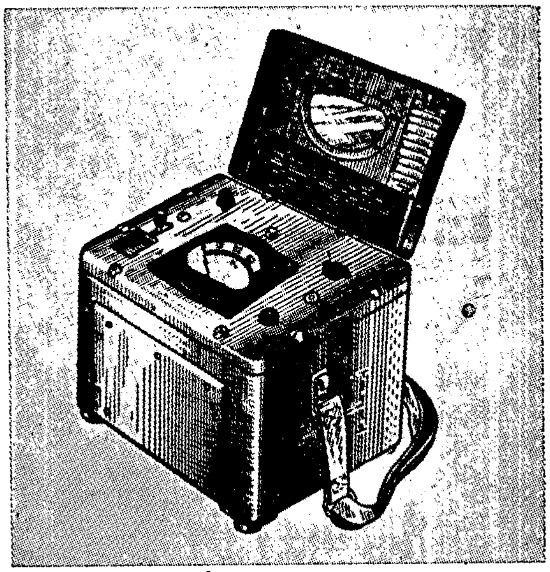
Йонизационната камера и броячът на частици са основната част на повечето от съвременните дозиметрични и радиометрични апаратури, които се използуват за измерване интензитета на радиоактивните лъчения и активността на различните радиоактивни препарати или лъченията и степента на заразяването на една местност в случай на атомно нападение.

Рентгенометърът е уред, който е предназначен за измерване степента на радиацията в дадено помещение или в заразените райони. Състои

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

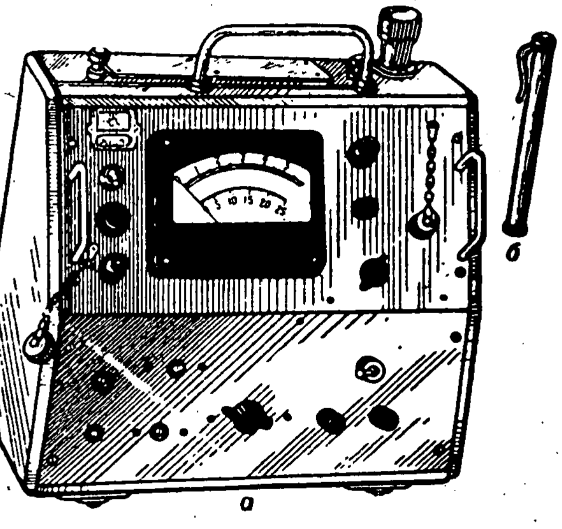
се от йонизационна камера, усилвател и измервателен инструмент — амперметър. Показанията на микроамперметъра са пропорционални на силата на тока, който възниква в йонизационната камера и който от своя страна е пропорционален на силата на радиацията. Външният вид на рентгенометъра е показан на фиг. 12.



Фиг. 12. **Общ вид на рентгенометъра**

Рентгенометърът позволява да се установят границите на заразения район, както и участъците със силно и опасно заразяване.

Дозиметърът има същото устройство, както и рентгенометърът. Предназначен е за измерване на сборната доза радиация, която е получена от хората през време на работата им с йонизиращи лъчения или при престояването им в заразен район. Вместо йонизационна камера в някои дозиметри като чувствителен към радиоактивните лъчения елемент се използуват Гайгер-Мюлерови броячи, фотоплаки и др. Външният вид на един дозиметър е даден на фиг. 13.



Фиг. 13. **Общ вид на дозиметъра**

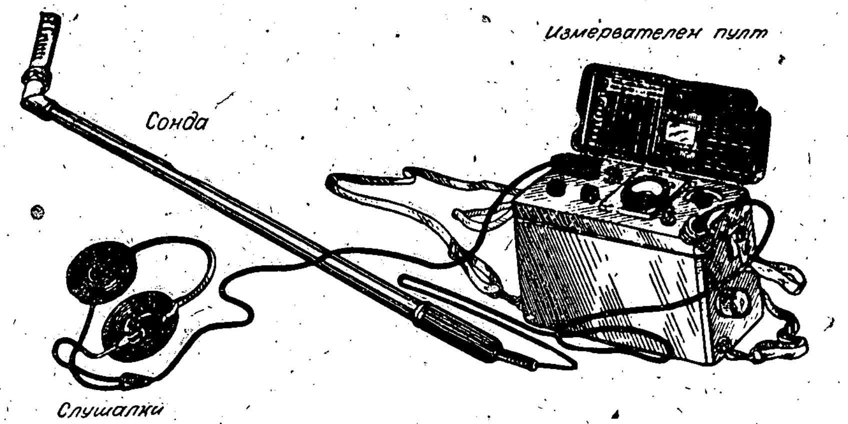
Радиометърът е уред, който служи за определяне степента на радиоактивно заразяване на повърхността на различни обекти, продоволствието, водата и въздуха, а също така на облеклото и кожата на хората след излизането им от заразения район.

С него се определя количеството на разпаданията на радиоактивните вещества на квадратен сантиметър за минута.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Принципното действие на радиометъра е също както това на рентгенометъра и дозиметъра с тази разлика, че тук чувствителният елемент не е йонизационна камера, а Гайгер-Мюлеров или кристален сцинтилационен брояч, който се закрепва на края на специална сонда (фиг. 14). За изследване на заразената повърхност сондата на радиометъра се поднася към заразената повърхност на разстояние 1—2 см. В слушалките, с които той е снабден, се чува пукане, което се предизвиква от



Фиг. 14. Общ вид на радиометъра

токовите импулси, възникнали в брояча под действието на излъчванията, съпровождащи разпадането на радиоактивните атоми. Освен това по специален измерителен инструмент може направо да се отчете степента на заразяването.

За индивидуален контрол на облъчването, което получават войниците, действуващи в заразен участък, те могат също така да бъдат снабдени с джобни дозиметри от типа на тези, за които стана дума по-горе.

7. ИЗКУСТВЕНА РАДИОАКТИВНОСТ

По същество изкуствената радиоактивност не се различава от естествената. Тя представлява самоволно превръщане (разпадане) на неустойчивите ядра на получени по изкуствен начин (несъществуващи в природата) изотопи в ядра на стабилни изотопи на елементите. Изкуствената радиоактивност бе открита от съпрузите Ирен и Фредерик Жолио-Кюри в 1934 г. при изучаване на изкуствените превръщания на атомните ядра на някои елементи, предизвикани чрез облъчването им с алфа-частици. Още от 1919 г. беше установено[1],

[1] Първото изкуствено превръщане на елементите беше наблюдавано в 1919 г. от английския физик Ръдърфорд при изучаване разсейването на алфа-частиците от азота.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

че при облъчване на атомните ядра на някои елементи с алфа-частици или изкуствено ускорени в силни електрически полета протони, деутрони[1] и пр. могат да се предизвикат изкуствени превръщания на ядрата на един елемент в ядра на друг елемент. Изучавайки по същия начин изкуствените превръщания на бора, алуминия и магнезия при облъчването им с алфа-частици с цел да получат свободни неутрони, съпрузите Жолио-Кюри получиха изкуствените изотопи азот 13, фосфор 30 и силиций 27, които се оказаха радиоактивни. Те излъчваха позитрони — леки материални частици, носещи по един елементарен положителен електрически товар, с маса, равна на масата на електрона (положителни електрони). Позитроните бяха открити 2 години по-рано в космическото лъчение. Оказа се, че изкуствено радиоактивните вещества обикновено излъчват електрони или позитрони и гама-лъчи.

При излъчването на един позитрон изкуствено радиоактивното ядро се превръща в ядро на нов елемент с маса, равна на масата на изходното ядро, но с товар и пореден номер, по-малък с единица. Така например азот 13 чрез излъчване на позитрони се превръща в стабилния изотоп на въглерода — въглерод 13. Периодът на полуразпадането му е равен на 14 минути; фосфор 30 се превръща в силиций 30 с време на полуразпадане 2.5 минути, а силиций 27 се превръща в алуминий 27. Неговият период на полуразпадане се оказа равен на 3.25 минути.

Днес са познати над 700 изкуствени радиоактивни изотопи на всички химически елементи в природата. Те имат най-различни времена на полуразпадането, които, както при естествено радиоактивните вещества, са строго постоянни за всеки един изкуствен радиоизотоп и не се влияят от външни въздействия. По-голямата част от тях излъчват електрони или позитрони и гама-лъчи с най-различна енергия и проникваща способност. Химическите им свойства се определят от принадлежността им към един или друг химически елемент и са най-разнообразни. Получаването им е по-евтино от това на радия. Поради всички тези обстоятелства изкуствените радиоизотопи днес почти напълно са изместили естествено радиоактивните вещества в практиката. Днес те се използват нашироко в медицината, биологията, химията, металургията, селското стопанство и пр. Някои от тях биха могли да се използват и като бойни радиоактивни вещества в една бъдеща атомна война, ако човечеството не намери начин да я избегне.

Някои от изкуствените ядрени превръщания, предизвикани от ускорени частици и алфа-частици, както и разпадането на изкуствените радиоизотопи се съпровождат с отделянето на грамадни количества енергия — стотици хиляди, даже милиони пъти по-големи, отколкото енергиите, отделяни при горенето на същото количество обикновено гориво (дърва, въглища и пр.). Тези превръщания обаче също не могат да се използват като източник за атомна енергия, понеже са нерентабилни. За тяхното осъществяване се изразходва много повече енергия (за ускоряване на бомбардиращите частици), отколкото енер-

[1] Ядра на деутерия.

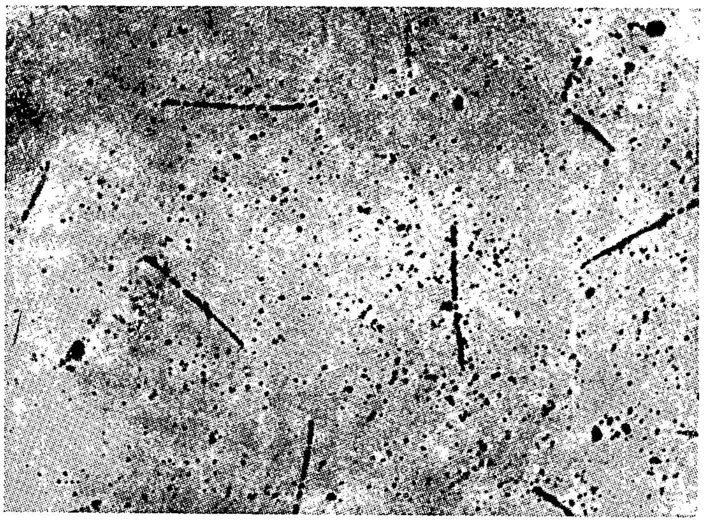
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

гията, която може да се получи от тях. Същото важи и за изкуствено радиоактивните изотопи, които, както видяхме, се получават точно чрез такива изкуствени ядрени превръщания.

8. НЕУТРОНИ

Нови възможности за изкуствени ядрени превръщания се създадоха с откриването на неутрона в 1932 г. Неутроните, както видяхме, влизат в състава на ядрата на химическите елементи и се освобождават при някои ядрени реакции. Както е известно, те не притежават



Фиг. 15. Следи на протони, ускорени при сблъскването им с неутрони

електрически товар и при преминаването им през различни вещества не предизвикват йонизация на атомите. Поради това те имат голяма проникваща способност. Така например при преминаването на поток от неутрони през 5 см дебела оловна плоча интензитетът му намалява само с 5%, докато гама-лъчите при същите условия отслабват десетократно. По тази причина неутроните не могат да бъдат наблюдавани по обикновените методи за изследване на йонизиращите частици[1]. Те обаче бързо губят енергията си при преминаването им през вещества с леки атоми. Това се дължи на еластичните удари при срещата им с ядрата на тези атоми (фиг.15). По този начин става забавяне на не-

[1] За измерване на неутронното лъчение се използува йонизацията на газовете под действието на отскачащите леки атомни ядра вследствие еластичните им удари с неутроните или йонизацията от продуктите на делението на някои тежки атомни ядра при облъчването им с неутрони (вж. следващата точка).

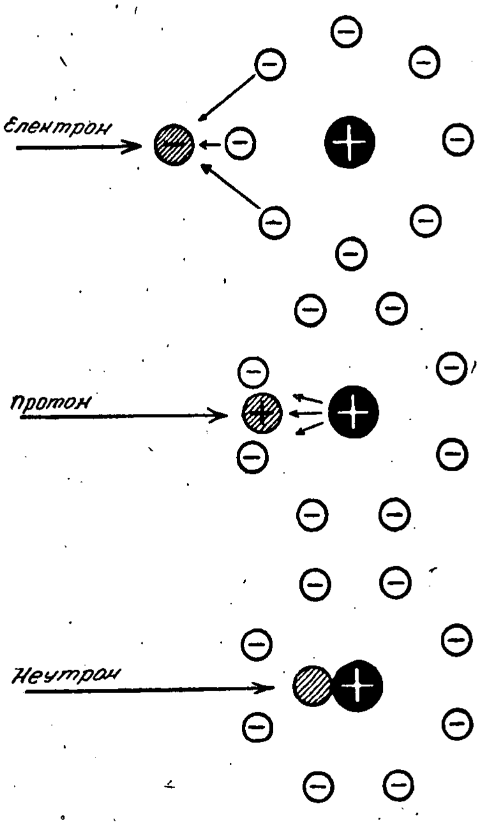
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

утроните и техните скорости могат да се намалят до скоростта, която имат молекулите на забавителя при дадената температура. Така се получават съвсем бавни неутрони, наречени термически. Най-добрият забавител на неутроните е водородът, обаче неговите ядра в значителна степен ги поглъщат, поради което на практика като забавител се предпочита следващият след водорода по ефективност забавител— деутерият, взет под формата на тежка вода. Значително по-малко ефективен, но за сметка на това много по-евтин и по-достъпен забавител е графитът, който нашироко се използува в ядрената физика и енергетика.

Главната причина за слабата ефективност (нерентабилност) на ядрените превръщания с алфа-частиците и ускорените протони, деутроните и пр. е техният товар. Тъй като са положително наелектризирани, те се отблъскват от атомните ядра. Това им пречи да попаднат в тях и да предизвикат желаните от нас ядрени реакции (фиг. 16).

Тъй като неутронът няма електрически товар и следователно не се отблъсква от ядрата, той може да се приближи, да проникне в тях и да предизвика ядрени превръщания даже и тогава, когато има много малка енергия. При бавните неутрони твърде разпространен ядрен процес е залавянето им от ядрата на елементите. В резултат на това се получават нови изотопи на дадения елемент, които са бета-радиоактивни. Така например от залавянето на бавни неутрони от ядрата на лекия водород се получава деутерий; от залавянето на неутрони от натрий 23 се получава радиоактивният изотоп на натрия — натрий 24, който е силно бета-радиоактивен с период на полуразпадане 14.8 часа и се превръща в магнезий 24; при залавянето на неутрони от ядрата на кобалт 59 се получава кобалт 60 с период на полуразпадане 5 години и 3 и половина месеца, който се превръща в никел 60, като отделя интензивно бета- и гама-лъчение, и т. н.

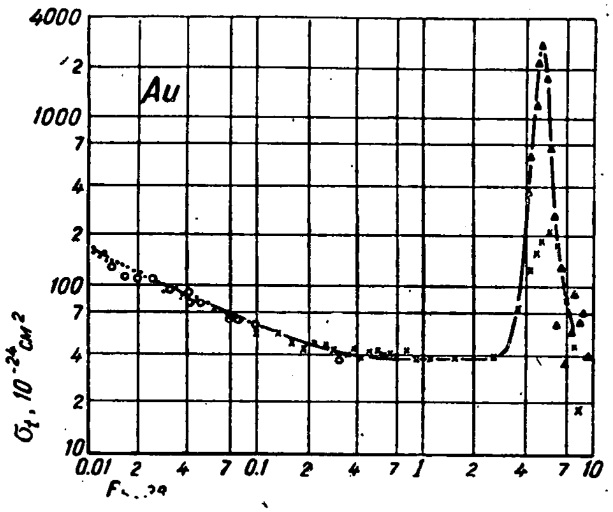


Фиг. 16. Проникване на различни частички в ядрото

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Една важна особеност на ядрените реакции, предизвикани от неутрони, е тази, че вероятността неутронът да проникне в ядрото и да произведе реакцията силно зависи от неговата енергия. В един тесен интервал от стойности за енергията на неутроните тази вероятност нараства извънредно много. Така например вероятността за захващане на неутрони от ядрата на златото нараства стотици пъти при енергия на неутроните около 5 електрон-волта[1] (фиг. 17). При кадмия и бора тази вероятност е особено голяма при още по-бавните термически неутрони. Заради това кадмият и борът са силно поглъщателни на термически неутрони. Така например половин милиметър дебела кадмиева плоча поглъща практически напълно всички термически неутрони.



Фиг. 17. Крива на ефективното сечение на залавяне на неутрони от ядрата на златото в зависимост от енергията на неутроните

За разлика от ядрените реакции с алфа-частици или изкуствено ускорени протони и деутрони, където стотици хиляди частици се изразходват, без да предизвикват ядрени превръщания, някои от ядрените реакции с неутрони могат да протекат с голяма ефективност. При известни условия може да се постигне почти всеки неутрон да бъде използуван за едно ядрено превръщане. Тази голяма ефективност на ядрените превръщания, предизвикани от неутрони, не можеше обаче първоначално да се използува практически за предизвикването на ядрени превръщания на по-големи количества вещество и за използуването на енергията, освобождаваща се при някои от тях, защото самите свободни неутрони се получаваха в резултат на други малко ефективни ядрени реакции. За да може да се достигне до практическо използуване на ядрените реакции за получаване на атомна енергия, необходимо беше да се открият такива ядрени превръщания, предизвикани от неутрони, в резултат на които между другото се освобождават и нови неутрони, способни да предизвикват същото превръщане на

[1] Електрон-волтът е единица за измерване енергията на елементарните частици и йоните. Един електрон-волт е енергията, която получава един електрон или друга каква да е заредена частица с единица елементарен електрически товар под действието на напрежение един волт.

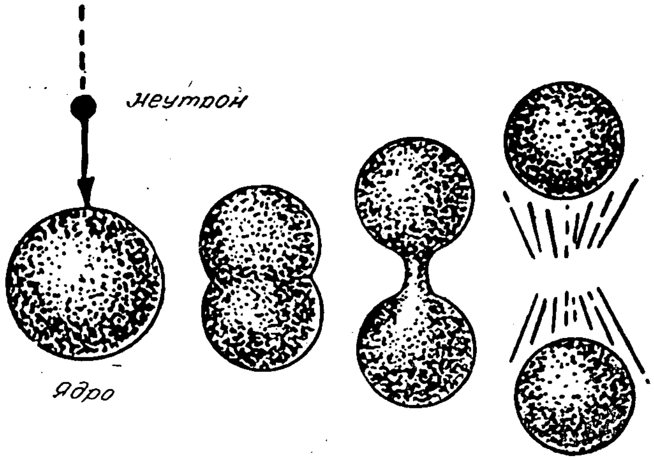
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

други атомни ядра, т. е. да се получи верижен ядрен процес. Такъв процес действително беше открит при облъчването на урана с неутрони.

9. ВЕРИЖНО ДЕЛЕНИЕ НА УРАНА

Уранът е най-тежкият елемент в природата. Той се състои от три изотопа: уран 238—99·38%; уран 235—0·714% и уран 234 — в незначително количество (0·006%). Неговите ядра съдържат по 92 протона. Между тези протони съществуват огромни отблъсквателни сили, които правят урановите ядра нестабилни. Уранът е алфа-радиоактивен. Периодът на полуразпадане на изотопа уран 238 е 4·5 милиарда години, а на уран 235 — около 900 милиона години. Освен това в 1939 година беше открито едно интересно негово свойство, което откри пътя към атомната енергетика и атомната бомба. Открито беше, че при попадането на един неутрон в урановото ядро то силно се възбужда, деформира се, като средната му част се изтънява и в края на краищата то се разделя на две приблизително равни части (фиг. 18), всяка една от които представлява ядро на някой средно



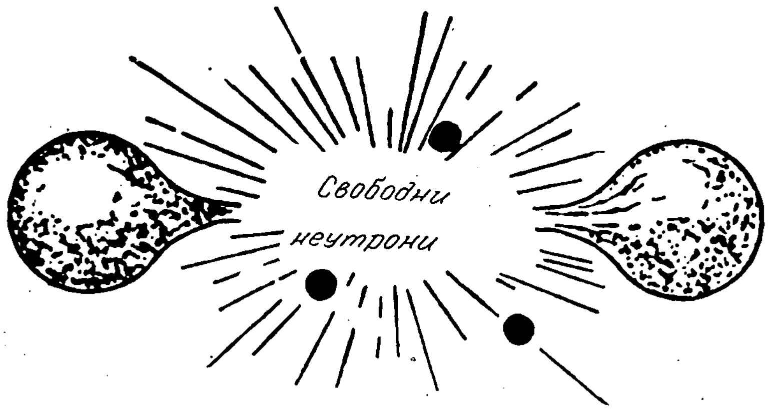
Фиг. 18. Деление на урановото ядро

тежък елемент, като барий, стронций, итрий, цирконий, криптон и др. Делението на урановите ядра се съпровожда с отделянето на огромни количества ядрена енергия. Тази енергия е няколко милиона пъти по-голяма от енергията, която се отделя при горенето на въглищата. Между новополучените в резултат на делението две ядра съществува силно отблъскване, понеже и двете са положително наелектризирани. Те се разлетяват в противоположни посоки с грамадни скорости.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Сблъсквайки се с околните атоми и молекули, те увеличават скоростта на тяхното движение и предизвикват рязко повишаване на температурата. Около 80% от освободената при делението на урана енергия се превръща по този начин в топлина, която също както топлината на въглищата, нафтата и др. може да се използува за различни цели.



Фиг. 19. **Отделяне на свободни неутрони при деление на урановото ядро**

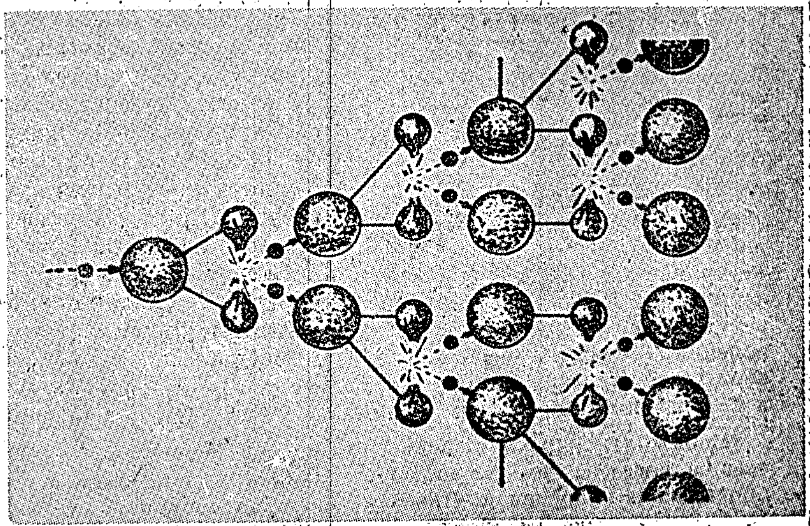
Получените от делението на урановите ядра изотопи на средно тежки елементи (с атомни тегла между 70 и 140) в сравнение с обикновените (стабилни) изотопи на същите елементи съдържат в ядрата си значително по-голям брой неутрони. Поради това те са силно радиоактивни. Чрез няколко последователни бета-превръщания (излъчване на електрони) част от излишните неутрони се превръщат в протони. Освен това, както опитно беше установено от Фредерик Жолио-Кюри, част от излишните неутрони се отделят още по време на самото деление на ядрата като свободни неутрони (фиг. 19). Този факт се оказа от решаващо значение за освобождаването на атомната енергия. Така например открито беше, че при делението на урановите ядра освен продуктите на делението се получават и по два или три свободни неутрона на едно деление. Тези неутрони биха могли от своя страна да предизвикат деление на няколко нови ядра, при което също ще се освободят нови неутрони, и т. н. Един такъв процес, веднъж започнал, би могъл да се развива самоволно и верижно (фиг. 20), като обхваща все по-голям брой уранови ядра, и би могъл да доведе до освобождаването на големи количества атомна (ядрена) енергия. Така например изчисленията показват, че ако би могло да се предизвика верижно разпадане на ураново кубче с ръб 2·7 см, което може свободно да се държи в ръка (фиг. 21), то ще отделя повече енергия, отколкото енергията, която се отделя от изгарянето на 1000 тона доброкачествени въглища.

За самоподдържането на верижния процес на деление обаче необходимо е броят на неутроните, участвуващи в делението, или да нараства

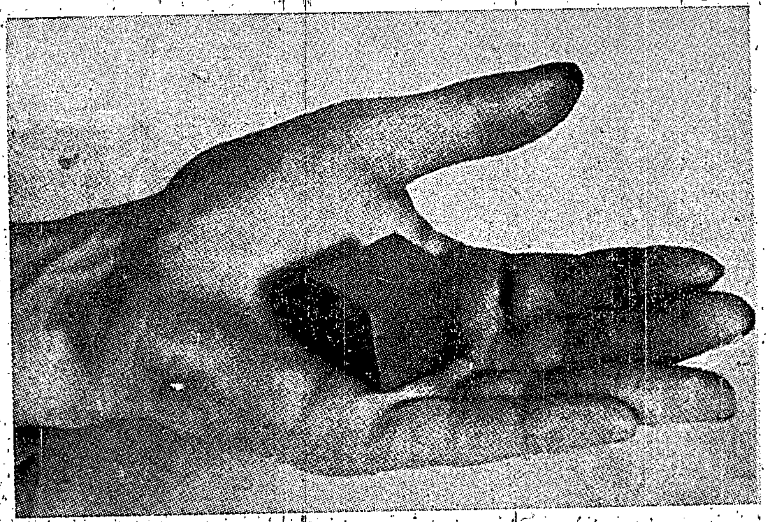
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

непрекъснато, или да остава постоянен. Ако от даден момент този брой намалява, реакцията спира. В първия случай процесът на делението протича с бързо нарастваща мощ и завършва с атомен взрив. Във втория случай той протича бавно, продължително — с постоянна мощ, и може да се контролира. В третия случай е невъзможен.



Фиг. 20. Принципна схема на верижна ядрена реакция



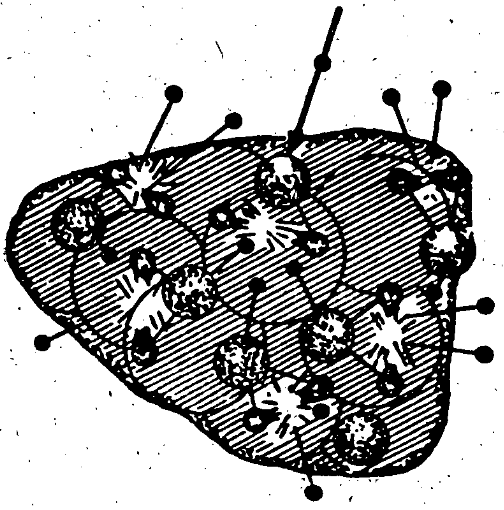
Фиг. 21

Загубите на неутрони, които могат да попречат на верижното деление, се дължат на поглъщането на неутроните от ядра, които нямат

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

свойството да се делят, и на изтичането на неутроните вън от урановото парче (фиг. 22). Ето защо реакцията не може да се осъществи в много малки късове от разпадащия се материал, особено ако към него има примеси от вещества, които силно абсорбират неутроните. За всеки разпадащ се материал съществуват минимални к р и т и ч н и р а з м е р и (критична маса), под които верижната реакция е невъзможна, даже и тогава, когато материалът е съвършено чист. Тези критични размери зависят от формата на парчето и от чистотата на материала. Колкото по-чист е материалът и формата на парчето е по-близка до сферичната, толкова по-малки са загубите на неутрони, следователно по-малки ще бъдат и критичните му размери.



Фиг. 22. **Изтичане на неутроните извън урановото парче**

За чистия уран 235, който, както ще видим по-надолу, може да се дели верижно, критичната маса е около 1 килограм, което отговаря на сфера с диаметър около 5 сантиметра.

Критичните размери могат да се намалят, ако разпадащият се материал се обгради с о т р а ж а т е л. Ролята на последния е да отрази (да върне обратно) изтичащите навън неутрони и по този начин да се намали тяхната загуба. Като отражатели най-често се употребяват берилий и графит.

През 1940 год. младите съветски учени Флеров и Петржак откриха, че ядрата на урана макар и много рядко (с период на полуразпадане 100 милиона милиарда години) могат да се делят и самоволно, без за това да са необходими външни неутрони. Това показва, че верижното деление на урана при определени условия би могло да започне без външен източник на неутрони. Практическото осъществяване на това деление обаче срещаше сериозни трудности.

Оказа се, че от двата по-разпространени изотопа на урана — уран 238 и уран 235, верижно деление може да се осъществи само с ядрата на уран 235, чието процентно съдържание в естествения уран е нищожно. Много по-разпространеният изотоп — уран 238, не само че не може да се дели верижно, но се явява като пречка за верижното деление на уран 235. Причината за това е следната: ядрата на уран 238 се делят само под действието на много бързи неутрони, чиято енергия надминава един милион електрон-волта. Неутроните, чиято енер-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

гия е по-ниска, се поглъщат от ядрата му, без да се стига до деление.

От всички неутрони, освободени при делението на ядрата на уран 238, само около 10% имат необходимата енергия, за да предизвикат нови деления. Останалите 90% имат начална енергия под 1 милион електрон-волта и се поглъщат, без да предизвикат деления и освобождаване на нови неутрони. При това положение реакцията не може да протече верижно. Наистина нека си мислим, че в даден момент по някакъв начин (чрез облъчване с външни неутрони или под действието на космическото лъчение и пр.) в едно ураново парче, съставено само от уран 238, са се разделили 100 ядра. Ако при делението на всяко ядро се освободят по 3 неутрона, ще се получат общо 300 свободни неутрона. От тях само 10%, т.е. 30 неутрона, ще имат необходимата енергия да предизвикат ново деление на уранови ядра, останалите 270 неутрона ще бъдат погълнати, без да могат да предизвикат такова деление. Следователно в най-благоприятния случай тези 30 неутрона, които имат достатъчно висока енергия, ще предизвикат делението на нови 30 ядра на уран 238. В резултат на това ще се получат 90 свободни неутрона, от които само 9 ще могат да продължат делението, и т. н. Вижда се, че след всеки акт на деление броят на участвуващите в реакцията неутрони, а съответно на това и броят на разпадналите се ядра бързо пада. След известен брой деления реакцията спира напълно.

Не по-добра е участта на процеса и в природния уран. Освен ядра на уран 238 природният уран съдържа ядра на уран 235, като средно на 139 ядра на уран 238 се пада едно ядро на уран 235.

Уран 235 се дели както от бързи, така и от бавни неутрони. Поради това всеки неутрон, попаднал в ядро на уран 235, предизвиква деление независимо от това, каква е била неговата енергия. Наличността обаче на голям брой ядра на уран 238, които силно поглъщат неутроните, без да се делят, прави и тук реакцията невъзможна. Ако в този случай си мислим, че по някакъв начин са претърпели деление 100 уранови ядра от освободените 300 неутрона, при еднаква вероятност за поглъщане от ядрата на двата уранови изотопа, 2 или 3 неутрона ще попаднат в ядрата на уран 235 и ще предизвикат деление. Останалите 297 ще се погълнат от ядрата на уран 238, които преобладават, и само в 10% от случаите на поглъщане от тези ядра ще се стигне до деление. Следователно деление ще претърпят 3 ядра на уран 235 и около 30 ядра на уран 238 или всичко 33 ядра. В резултат на това ще се получат 99 свободни неутрона (по 3 от всяко разделено ядро), които ще предизвикат деление на едно ядро на уран 235 и около 10 ядра на уран 238 и т. н. Ясно е, че и тук реакцията върви към упадък.

За нейното осъществяване има две възможности: или да се работи с чист уран 235, или по някакъв начин да се увеличи вероятността за поглъщането на неутроните от ядрата на уран 235, които се намират в обикновения уран, и верижният процес да стане възможен и в природен уран или в уран, обогатен с уран 235.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Получаването на чист уран 235 обаче става много трудно. То се извършва по метода на газовата дифузия[1]. Този метод, както и всички други методи за разделяне на изотопите[2], е твърде скъп и нерентабилен. Разделянето на урановите изотопи по този метод изисква грамадни заводски уредби и изразходването на огромни количества енергия. Въпреки това, хвърляйки големи средства, американците успяха още по времето на Втората световна война да произведат достатъчно количество уран 235, който използуваха за направата на една от първите атомни бомби. Днес такива заводи за обогатяване на урана с уран 235 и за произвеждане на чист уран 235 са построени и в други страни.

Освен в уран 235 верижно деление на атомните ядра може да се осъществи и в изотопите плутон 239 и уран 233. Тези два изотопа не се намират в природата. Те принадлежат към отдавна измрелите (нестабилни) елементи. Получават се по изкуствен начин чрез облъчването на уран 238 и торий 232 с неутрони[3]. Други такива вещества засега не са известни.

Практически верижното деление в едно парче от някои от тези изотопи може да се осъществи само тогава, когато масата и размерите му надминават съответните критически стойности. В този случай в делението участвуват предимно бързи неутрони и ако количеството на реагиращия ядрен материал чувствително надминава критическото количество, реакцията протича експлозивно. Поради малките стойности на критичните маси и голямата скорост, с която протича реакцията в чистите, разпадащи се изотопи, те се използуват като ядрени експлозиви в атомните бомби и др. ядрени оръжия. Те обаче биха могли да се употребят и като ядрени горива в реакторите, в които верижното деление протича бавно и контролируемо. Поради това, ако се постигне,

---

[1] Методът на газовата дифузия почива на незначителната разлика в скоростта на дифузията на изотопите на един елемент.

За разделянето на изотопите на урана се използува неговото газообразно съединение уранов хексафлуорид. Дифузията се извършва през порести прегради, приготвени по специален начин. Молекулите, съдържащи уран 235, като по-леки дифундират по-бързо от онези, съдържащи уран 238. Поради това еднократно дифундиралият газ се оказва незначително обогатен на уран 235, а недифундиралият — на уран 238. След повтаряне на този процес няколко хиляди пъти получава се практически пълно разделяне на двата изотопа.

[2] Освен газовата дифузия съществуват още термодифузионен, електромагнитен, центрофугален, електролитен и др. методи за разделяне на изотопите.

[3] Получаването на плутона става по следния начин: уран 238, както видяхме, се дели само под действието на неутрони с висока енергия. При облъчването му с неутрони, чиято енергия е недостатъчна, за да предизвикат деление, се поглъщат от ядрата на уран 238, в резултат на което се получават ядрата на твърде нестабилния уранов изотоп уран 239. Той е бета-радиоактивен, с период на полуразпадане 23 минути. Чрез излъчване на един електрон неговото ядро се превръща в ядро на първия трансуранов елемент нептун с атомно тегло 239 и пореден номер 93 (гледай периодичната таблица на края). Той също е нестабилен и с още едно бета-превръщане (полупериод 2—3 денонощия) се превръща в следващия трансуранов елемент плутон 239, чийто пореден номер е 94. Плутон 239 е алфа-радиоактивен, с период на полуразпадане 24 хиляди години и се превръща в уран 235. Тази относителна стабилност на плутона дава възможност той да бъде получен в значителни количества.

Получаването на уран 233 става по аналогичен начин от торий 232.

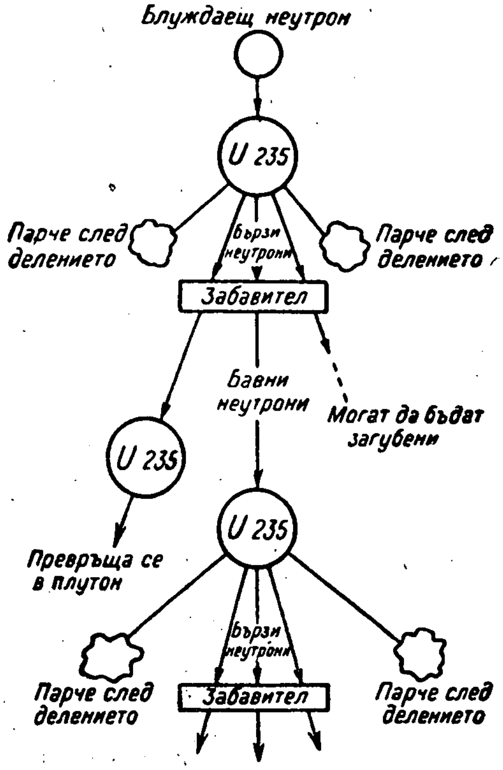
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

международно споразумение за забрана на ядреното оръжие и за унищожаване на запасите от такива оръжия в държавите, както това предлага Съветският съюз, ядреният експлозив ще може да се използува за мирни, градивни цели вместо за убиване на хора и разрушение.

Другата възможност за реализирането на верижен процес (не в чист уран 235, а в природен уран) чрез увеличаване вероятността за поглъщане на неутроните от уран 235 и намаляване на поглъщането им от уран 238 беше посочена още в 1939 год. от Фредерик Жолио-Кюри.

За разрешаването на този въпрос беше използувано едно благоприятно обстоятелство. То се състои в това, че вероятността на залавянето на неутроните от ядката на уран 238 е най-голяма, когато енергията им е около 7 електрон-волта. При по-малки енергии тя бързо намалява, като за съвсем бавните (термически) неутрони става стотици пъти по-малка. Същевременно вероятността за залавянето на термическите неутрони от ядрата на уран 235 силно нараства. Значи работата по осъществяване на верижен процес в природния уран се свежда до това да се работи с много бавни вместо с бързи неутрони. За тази цел условията трябва да се подбират така, че неутроните, освободени от разпадащите се ядра на уран 235, да минат първо през някакъв забавител и след това отново да попаднат в урана, за да предизвикат деление на намиращите се в него ядра на уран 235 (фиг. 23). В този случай поради нарасналата ефективност на неутроните относно делението на уран 235 и поради по-слабото им поглъщане на уран 238 верижното деление на уран 235 става възможно и в природния уран въпреки нищожното му процентно съдържание.



Фиг. 23. Схема на верижна ядрена реакция с бавни неутрони

Този начин за реализиране на верижен ядрен процес на деление се използува в така наречените ядрени реактори или уранови котли. В тях реакцията на верижното деление протича

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

бавно и контролирано, поради което освободената ядрена енергия може да се използува за различни мирни цели.

Устройството и действието на ядрените реактори ще разгледаме накратко в последната глава на настоящата книга.

10. ТЕРМОЯДРЕНИ РЕАКЦИИ

Делението на ядрата на урана и плутона не е единственият ядрен процес, при който може да се освободи голямо количество ядрена енергия. Друг процес, при който се отделя даже по-голямо количество такава енергия, е съединяването на ядрата на най-леките елементи в ядра на по-тежки (ядрен синтез). Такъв процес например е превръщането на водорода в хелий.

Видяхме, че при наличността на голямо количество разпадащ се материал в чисто състояние делението започва самоволно и протича верижно. То не се нуждае от външна енергия и протича при обикновени условия (температура, налягане и пр.). Не така стои въпросът със синтезирането на леките елементи в по-тежки. За да могат две леки ядра да се свържат в едно по-тежко ядро, те трябва да се доближат на разстояние, на което действуват ядрените сили, т. е. те трябва да се „допрат" едно до друго. На това обаче се противопоставя електростатичното отблъскване между техните едноименни електрически товари, което е толкова по-голямо, колкото по-големи са тези товари. За неговото преодоляване е необходимо самите ядра да се движат с голяма скорост едно срещу друго. В лабораторни условия това се постига чрез бомбардирането на едни ядра с други, които са ускорени в силни електрически или електромагнитни полета. Техните енергии могат да бъдат много големи и напълно достатъчни, за да се преодолее електростатичното отблъскване, обаче броят им е сравнително малък и затова освободената енергия е малко. За да може да протече една синтетична ядрена реакция в голям мащаб, в нея трябва да участвуват не отделни, а всички ядра на едно макроскопично количество вещество. За това е необходимо всички ядра на реагиращите вещества да притежават висока кинетична енергия, която да им позволи при случайните взаимни срещи и удари да се свържат помежду си в едно по-сложно ядро.

Енергията, която имат ядрата при обикновени условия, не е достатъчна за това. С повишаването на температурата до няколко десетки милиона градуса обаче практически всички атомни ядра на някои леки елементи добиват възможност да се свържат в по-тежки ядра. Затова ядрените реакции от този тип, които стават осъществими при повишаване температурата на реагиращи тела до няколко милиона или десетки милиона градуса, се наричат **термоядрени реакции**. За протичането на термоядрените реакции е необходима не само свръхвисока температура, но и свръхвисоко налягане от порядъка на няколко милиона атмосфери. Само при такива налягания вероятността

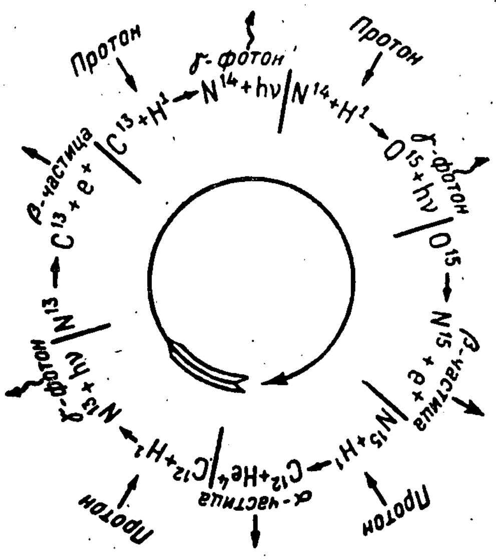
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

за срещите и свързването на ядрата е достатъчно голяма, за да може реакцията да протече бързо и в голям мащаб. Само тогава отделената при реакцията топлина е достатъчна за нейното самоподдържане.

Най-лесно протичат термоядрените реакции с най-леките ядра, защото при тях електростатичното отблъскване е най-слабо. Такива реакции са например свързването на два протона в един деутрон, при излъчването на един позитрон, или на един деутрон и един протон в ядро на лекия изотоп на хелия — хелий 3, и т. н.

Интересно е да се отбележи, че човечеството от най-дълбока древност, както и целият растителен и животински свят върху земята винаги са се ползували от енергията на термоядрените реакции, без някой да е подозирал това. Дълго време науката не можеше да даде задоволителен отговор на въпроса, какъв е източникът на огромните количества енергия, излъчвана в продължение на десетки милиарди години от слънцето, без при това да е настъпило каквото и да било понижение на неговата температура. Тази загадка беше разгадана едва през последните двадесетина години, когато бяха открити някои термоядрени реакции и бяха разкрити възможностите за тяхното производене при условия, каквито съществуват в недрата на слънцето и звездите. Оказа се, че в центъра на слънцето, където температурата е около 19 милиона градуса, а налягането стига огромната стойност 100 милиарда атмосфери, става свързването на четири водородни ядра в едно хелиево ядро, като се отделят два позитрона и голямо количество енергия под формата на гама-лъчение и топлина. Това свързване не се извършва наведнъж. То се състои от няколко последователни и независими един от друг ядрени процеси, образуващи един затворен кръг. Тези процеси се осъществяват с посредничеството на въглеродното ядро, което играе ролята на ядрен катализатор. То участвува в свързването на четирите протона в едно хелиево ядро, като само търпи редица изменения, но в края на краищата при затварянето на кръга се възстановява. Този цикъл е известен под името въглероден цикъл. Той е представен схематично на фиг. 24. Понастоящем в науката е общоприето мнението, че въглеродният цикъл е основният източник на слънчевата енергия, която поддържа живота върху земята



Фиг. 24. Схема на въглеродния цикъл

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

и се явява като първоизточник почти на всички земни енергетични източници.

Въглеродният цикъл протича много бавно. Той се затваря средно за около 50 милиона години. Поради голямата маса на слънцето обаче огромен брой атомни ядра участвуват в него и затова отделената енергия е колосална. Изчисленията показват, че тя е достатъчна, за да се покрият разходите на слънцето от излъчената енергия.

Изкуственото възпроизвеждане на въглеродния цикъл в земни условия е немислимо. За неговото поддържане се изискват огромни маси реагиращ материал и продължително поддържане на свръхвисоки (слънчеви) температура и налягане. Доскоро върху земята такива температури и налягания въобще не бяха получени. С построяването на атомната бомба в центъра на експлозията ѝ, макар и за миг температурата се покачва до няколко десетки милиона градуса, а налягането — до няколко милиона атмосфери. С това се откриха реални възможности за изкуствено произвеждане на някои експлозивно протичащи термоядрени реакции. Откриха се възможности за построяването на термоядрената или водородната бомба, чиято мощ може многократно да надмине мощта на атомните бомби.

Понастоящем голям брой термоядрени реакции са произведени не само в лабораторни условия, но и на военните полигони за изпробване на атомни оръжия.

В таблица 1 са дадени известен брой термоядрени реакции заедно с някои техни характеристики.

Таблица 1

Характеристика на някои термоядрени реакции

№ по ред	Ядрена реакция	Топлинен ефект на милиарди калории на 1 *г* атом	Тротилов еквивалент в хиляди тона на 1 *кг*	Продължителност на реакцията при 20,000,000
1	$H_1^1+H_1^1=D_1^2+e^+$	34	1·8	10 год.
2	$H_1^1+D_1^2=H_{e_2}^3$	120	6·2	0.5 сек.
3	$H_1^1+T_1^3=H_{e_2}^4$	480	23·5	0.05 сек.
4	$D_1^1+D_1^1=H_{e_2}^3+n_0^1$	79	3·9	0.00003 сек.
5	$D_1^1+D_1^1=H_1^1+T_1^3$	96	4·7	0.00003 сек.
6	$D_1^1+T_1^3=H_{e_2}^4+n_0^1$	420	17·6	0.000003 сек.
7	$T_1^3+T_1^3=H_{e_2}^4+2n_0^1$	270	12·2	—
8	$Li_3^6+D_1^2=2H_{e_2}^4$	540	53	—
9	$Li_3^6+T_1^3=2H_{e_2}^4+n_0^1$	380	53	—
10	$Li_3^6+H_1^1=2H_e^4$	410	51	1 мин.
11	$B_5^{11}+H_1^1=3H_{e2}^4$	190	9·2	3 дни
12	Деление на U или Pu	4800	20	—

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

От тази таблица се вижда, че при температура 20 милиона градуса най-бързо протича реакцията между трития и деутерия. Тази именно реакция беше използувана най-напред за произвеждането на термоядрени експлозии. В действителност тя винаги се съпровожда и от реакциите 4, 5 и 7. По-късно бяха произведени термоядрените реакции 8, 9 и 10 (вж. табл. 1).

Възпламеняването на термоядрените реакции става с помощта на обикновена атомна бомба. От друга страна, самите термоядрени реакции протичат експлозивно — за няколко милионни части от секундата, и предизвикват експлозия, много по-силна от тази на атомната бомба.

Тези обстоятелства засега се явяват като сериозна пречка за впрягането на огромната енергия на термоядрените реакции в градивна работа. Няма съмнение обаче, че тази пречка ще бъде преодоляна или обходена и човечеството ще се снабди с нов неизчерпаем източник на енергия. При откриването на сесията на Академията на науките на СССР по мирното използуване на атомната енергия през юли 1955 г. академик А. Н. Несмеянов, засягайки въпроса за термоядреното гориво, възторжено заяви: „Водородът от водата като източник на гориво! При това гориво милиони и милиарди пъти по-концентрирано от въглищата! Термоядрените реакции за градивна работа, за богатство и щастие на цялото население на нашата земя, за нова по-голяма власт на човека над природата! Увлекателна и вдъхновяваща цел, достойна да ѝ бъдат посветени дружните, обединени усилия на народите!“

Само няколко месеца след това друг голям съветски специалист — акад. И.В. Курчатов, в речта си пред XX конгрес на КПСС каза: „Теоретичните работи по атомната и ядрена физика откриват възможност да се разгърнат експериментални работи за осъществяване на управляеми термоядрени реакции.“

Оттук вече проличава темпът, с който учените атакуват този така важен проблем. Това, което преди около половин година беше само идея или пожелание, днес става обект на експериментиране, а само след няколко години може да стане неизчерпаем източник на блага.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Обща характеристика на атомното оръжие

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

1. ВИДОВЕ АТОМНО ОРЪЖИЕ И СПОСОБИ ЗА НЕГОВАТА УПОТРЕБА

Под понятието атомно оръжие е прието да се разбира онова оръжие, чието поразяващо действие е основано на използуването на енергията, която се освобождава при преобразуване атомните ядра на някои вещества.

Различаваме два вида атомно оръжие: атомно оръжие с взривно действие и бойни радиоактивни вещества.

Атомното оръжие с взривно действие се основава на използуването на вътрешноядрената енергия, която се отделя мигновено в резултат на реакция с взривен характер.

Атомното оръжие с взривно действие се употребява във вид на бомби, артилерийски снаряди, ракети, управляеми самолети-снаряди, торпеда и пр. То се използува за нанасяне удари по различни обекти както на бойното поле, така и във вътрешността на страната.

Като обекти за нападение с атомно оръжие на бойното поле обикновено ще бъдат съсредоточенията на войските, бойната техника, командните пунктове, големите морски и снабдителни бази, летища и пр.

Във вътрешността на страната обекти за атомно нападение нормално ще бъдат големите административни, политически и промишлени центрове, ж. п. възли и някои важни съобщителни съоръжения (гари, пристанища и пр.).

Разрушителното действие на атомното оръжие зависи от неговия вид и количество на енергията, която се освобождава. Най-голямо разрушително действие засега имат атомните бомби.

В зависимост от тяхната мощност атомните бомби се разделят на три калибъра — малък, среден и голям. Към малкия калибър спадат бомбите с тротилов еквивалент[1] средно от 5000 до 10,000 тона; към средния калибър — от 20,000 до 50,000 тона и към големия калибър от 100,000 до 200,000 тона.

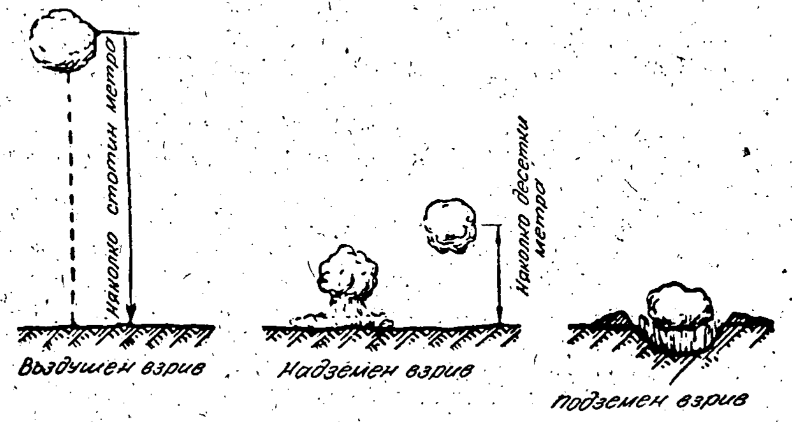
[1] Тротиловият еквивалент на една атомна бомба е онова количество тротил, който ако експлодира на дадено място, ще освободи същото количество енергия както експлозията на атомната бомба.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

В зависимост от това, къде се взривава атомната бомба, различаваме три вида атомен взрив — въздушен, надземен и подземен (подводен) (фиг. 25).

Въздушният взрив става на няколкостотин метра над земята и нормално се използва за поразяване на хора и бойна техника, които са на открито или в сравнително несолидни укрития, за разрушение на градове, пътни възли и пр. Надземният взрив се използва, когато е необходимо да се разрушат по-солидни постройки и съоръжения. Подземният или подводният взрив се използва за удари срещу силно укрепени райони или някои морски обекти.



Фиг. 25. **Видове атомни взривове**

Хвърлянето на атомни бомби става от специални самолети—носители на атомно оръжие, които летят на големи височини, за да не пострадат при взрива. Нормално бомбите от малък калибър се хвърлят от височина, не по-малка от 6,000 до 8,000 метра.

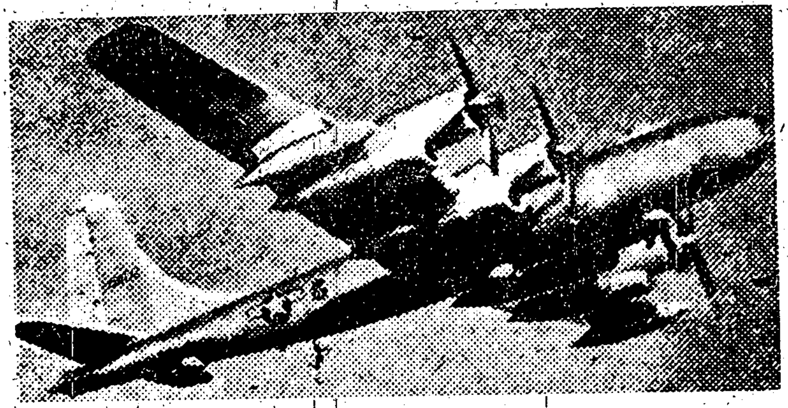
Според данни от чуждестранния печат за пренасяне на атомни бомби американските въоръжени сили ще използуват самолети както от стратегическата, така и от тактическата авиация. Към самолетите, носители на стратегически атомни бомби, спадат бомбардировачите В-29 (фиг. 26), В-52, които американското командуване счита като основен тип бомбардировачи за нанасяне на стратегически атомни удари. За нанасяне на удари с тактически бомби на бойното поле могат да бъдат използувани изтребителят-бомбардировач F-84G, и реактивните бомбардировачи В-45 и В-57.

Напоследък за стратегически цели се използуват самолетът „Стратоджед" тип В-47 и F-84 F — „Тъндърстрик".

Действието на самолетите, носители на атомно оръжие, нормално се осигурява от останалата изтребителна авиация, която трябва да извоюва въздушно господство.

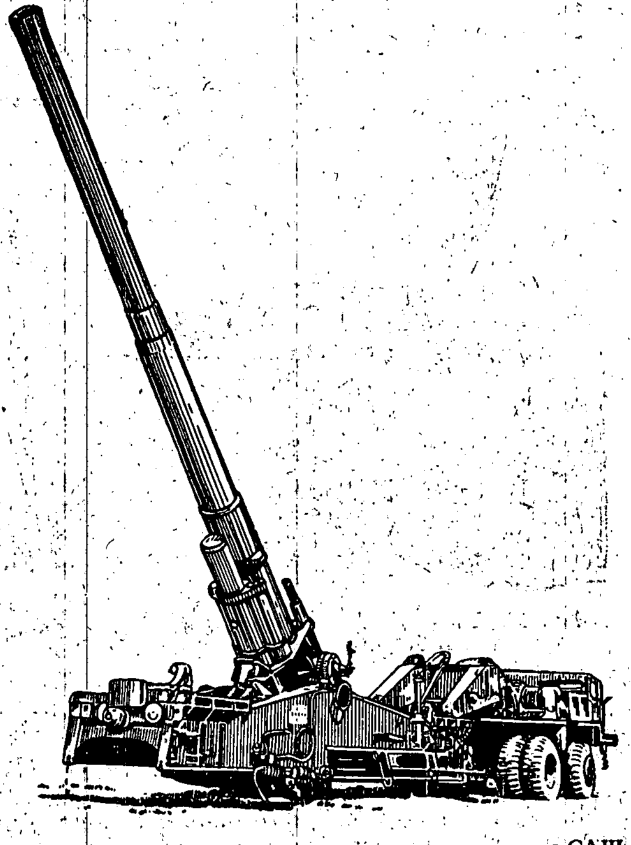
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6



Фиг. 26. Общ вид на бомбардировача тип B-29, от който бяха пуснати атомните бомби над Япония

Артилерийските атомни снаряди се изстрелват от специално устроени а т о м н и о р ъ д и я (фиг. 27). За пръв път такова оръдие американците изпробваха на 25 март 1953 година в щата Невада. Оръдието тежи общо 85 тона и има далекобойност до 32 км. Изстреляният пробен снаряд прелетял 11 км и избухнал 150 м над целта. Поражението на снаряда е обхванало 15 хектара. Поради своята огромна тежест това оръдие се тегли от два специални влекача. По-късно това оръдие беше пренесено в германската федерална република и с него се правеха демонстрации в реваншистката армия на бон-



Фиг. 27. Атомно оръдие на въоръжение в армията на САЩ

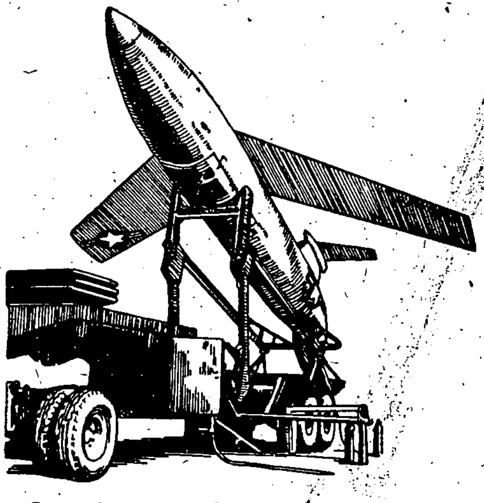
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

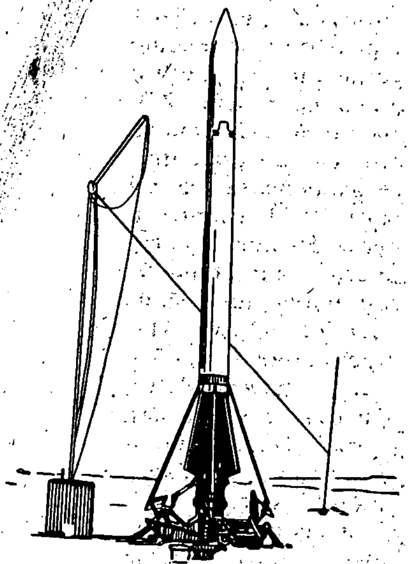
ското правителство. През време на маневрите в 1954 година в Западна Германия стана ясно, че това оръдие, макар и да притежава голяма разрушителна мощ, поради големите си размери и тегло възможностите за неговото използуване на бойното поле са твърде ограничени.

Управляемите и неуправляемите снаряди се използуват за удари по обекти, които не могат да се достигнат от обикновената артилерия. Към снарядите, с които засега разполагат САЩ, спада управляемият снаряд В-61 „Матадор“, управляемият снаряд „Капрал“, неуправляемият снаряд „Онест Джон“ и ракетата „Редстоун“, която засега се пази в тайна.

Управляемият снаряд-самолет В-61 „Матадор“ (фиг. 28) тежи около 5,400 кг, развива максимална скорост 1,100 км в час при най-голяма далекобойност 800 км. В самолета е монтиран турбореактивен двигател, който се намира на опашката на самолета. Управлението на самолета и насочването му към целта се осъществява по радиото и може да се извърши както от земята, така и от пилотиран самолет. Използуването на снаряда става за удари по крупни стратегически обекти.



Фиг. 28. Управляем снаряд-самолет тип В-61 „Матадор“



Фиг. 29. Управляем снаряд „Капрал“

Управляемият снаряд „Капрал“ (фиг. 29) се използува за удари по тактически и оперативни обекти на бойното поле. Той тежи около 5,400 кг с максимална далекобойност 160 км. Снабден е също с реактивен двигател.

Неуправляемият барутен снаряд „Онест Джон“ (фиг. 30) е предназначен за непосредствена поддръжка на сухопътните войски. Има

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

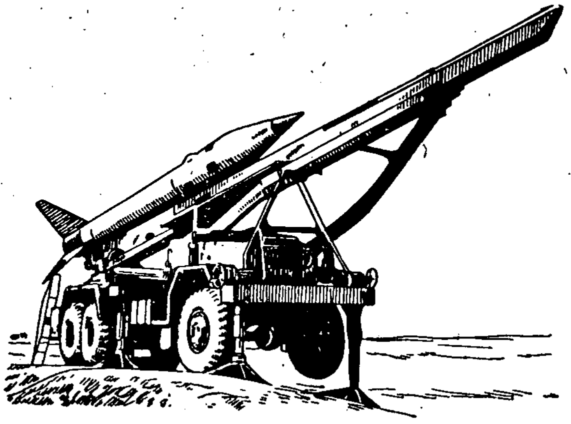
калибър 762 мм, тежи около 300 кг и има далекобойност 24—30 км. Снарядът е монтиран на специална установка.

Атомното торпедо е предназначено за удари по морски единици. То се изстрелва от специална установка или самолети-торпедоносци.

Освен споменатите по-горе снаряди, ракети и торпеда с атомен заряд напоследък в пресата се съобщава за появата и на други посъвършени атомни оръжия със значително поголям район на действие.

Атомното оръжие още се дели на тактическо и стратегическо.

Към тактическото атомно оръжие спадат малокалибрените, среднокалибрените бомби и различните видове снаряди, а към стратегическото атомно оръжие — голямокалибрените бомби, водородната бомба и някои от специалните ракети, каквато се очаква да бъде ракетата „Редстоун".



Фиг. 30. Управляем барутен снаряд „Онест Джон"

Бойните радиоактивни вещества (БРВ) са друг вид атомно оръжие, което поразява посредством вредното биологично действие на радиоактивното си лъчение.

Те се използуват за заразяване на местността, въздуха и съоръженията, за поразяване на хората, животните и растенията, за скования бойната дейност на войските и затрудняване работата в тила.

Употребяват се във вид на прах, разтвори и др. посредством снаряди, авиобомби, торпеда, ракети и др.

Използуването на различните видове атомно оръжие е свързано с известни условия. Така например, за да бъде хвърлена една атомна бомба от въздуха, преди всичко трябва да се осигури въздушно господство над района, където ще бъде пусната бомбата. Освен това полетите на въздушните сили са в известна зависимост от атмосферните условия. Зимно време използуването на бойни радиоактивни вещества при снеговалежи и бури не е целесъобразно, тъй като снежната покривка, която затрупва тези вещества, в значителна степен намалява тяхното действие.

Нужно е все пак да се подчертае, че съвременната техника, с която сега армиите разполагат, дава възможност атомното оръжие да бъде използувано през всяко време на годината, във всякакви усло-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

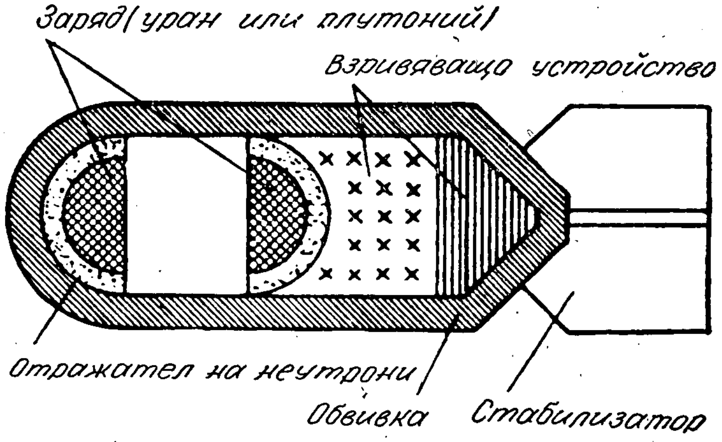
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

вия денем и нощем, поради което въпросът за противоатомната защита на населението във вътрешността и войските на фронта изпъква като въпрос от особена важност.

2. АТОМНА БОМБА

Съвременните атомни бомби представляват авиационни бомби със специална конструкция, в които като заряд се използува ядрен експлозив — вещество, в което може да се развие процес на верижно деление на ядрата под действието на неутрони. Като ядрен експлозив днес се използуват веществата уран 235, плутон 239 и уран 233.

За да може да се произведе бързо протичаща верижна реакция, която да предизвика атомна експлозия, необходимо е да се разполага



Фиг. 31. Принципна схема на устройството на атомната бомба

с достатъчно голямо количество ядрен експлозив, надминаващо определени критични размери, под които експлозията е невъзможна. Преди взривяването на бомбата тя трябва да бъде безопасна. С оглед на това тя е направена от няколко отделни заряда атомен експлозив с размери под критичния, поставени в една здрава стоманена обвивка (фиг. 31). Във всеки един от тези заряди по отделно не може да протече верижно деление. С помощта на обикновен експлозив и запалка те могат в даден момент да бъдат изстреляни един срещу друг и бързо събрани в един общ къс със сферична форма, чиито размери надминават критичните. В него започва мощна верижна реакция, която за извънредно кратко време обхваща почти целия експлозив. Отделя се грамадно количество енергия, което предизвиква атомна експлозия с огромна мощност.

Енергията, освободена при експлозията на атомните бомби, е няколко хиляди пъти по-голяма от тази, освободена при експлозията на най-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

големите авиобомби. Затова големината (калибърът) на тези бомби се изразява с няколко десетки или стотици хиляди тонове тротилов еквивалент. Така напр. първите атомни бомби, пуснати от американците над японските градове Хирошима и Нагазаки през 1945 г., имаха тротилов еквивалент по 20 хиляди тона. Това означава, че енергията, освободена при експлозията на една от тези бомби, се равнява на енергията, освободена при експлозията на една обикновена бомба, заредена с 20 хиляди тона тротил. Ако си представим, че тази въображаема обикновена бомба има сферична форма, нейният диаметър ще бъде около 30 м.

Процесът на верижното разпадане на атомния експлозив в атомната бомба започва, преди още отделните заряди да са се допрели един до друг, поради което, ако скоростта на събирането им в един общ къс е недостатъчна, бомбата може да избухне още в самото начало на верижния процес, преди още да е прореагирало цялото количество атомен експлозив. Това естествено силно би понижило ефекта от експлозията. Тази обвивка трябва да бъде достатъчно издръжлива, за да се пръсне, едва след като процесът на верижното разпадане е завършил. Даже и в този случай не става разпадане на всичкия ядрен експлозив. Разпада се само свръхкритичният запас от ядрен експлозив. Изобщо ефективността на атомната бомба се изразява с процентите разпаднал се ядрен експлозив спрямо общото му количество в бомбата. При много малките и много големите бомби ефективността е по-ниска. Причината за това е, че при малките бомби имаме малък свръхкритичен запас от ядрен експлозив, а при големите атомни бомби ефективността се намалява поради това, че бомбата се пръска, преди още процесът на разпадането да е обхванал цялото количество ядрен експлозив. Голяма част от разпадащия се материал остава неизползуван. Най-пълно се използува ядреният експлозив при атомни бомби от среден калибър.

Количеството на атомния експлозив, употребен за направата на първите атомни бомби, възлизало на няколко килограма (според някои данни от чуждия печат — около 50 кг). Самият експлозив имал големина на топка с диаметър около 17 см. Всяка една от бомбите тежала по 5 тона и е била пренесена до обекта с тежък бомбардировач тип B-29.

Сега са построени различни видове атомни бомби, някои от които са много по-мощни от тези, пуснати в Япония.

Мощността на атомните бомби била увеличена чрез усъвършенствуване на конструкцията им с оглед да се получи по-пълно използуване на ядрения експлозив и чрез увеличаване количеството на самия експлозив.

През пролетта на 1948 г. американците изпробваха на атола Ениветок атомни бомби с тротилов еквивалент 120,000 тона. В тези бомби независимо от техните технически усъвършенствувания количеството на ядрения експлозив е било неколкократно по-голямо. Разбира се, при увеличаването на ядрения експлозив винаги се спазва правилно всеки един от употребените късове до момента на експлозията да не превишава критичните размери. Техническите трудности, които възникват във връзка със спазването на това правило, вероятно се явяват

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

като една съществена пречка за построяването на много големи атомни бомби (свръхбомби) с разпадащи се материали.

Необикновено голямата мощ и висока енергетична концентрация на атомния експлозив поражда идеята за създаването на атомни микробомби (бомба „джудже“) с нищожни размери, които по своята разрушителна сила да се равняват на най-тежките авиобомби. Съществуването обаче на минимална критична маса ядрен експлозив прави засега построяването на такива атомни микробомби невъзможно.[1]

Следователно за атомното оръжие съществуват долна и горна критична маса, които ограничават неговата мощност и до известна степен определят областта на неговото приложение.

Между тротиловия еквивалент и действителното поразяващо действие на една атомна бомба има голяма разлика. Тротиловият еквивалент означава, че енергията, освободена при експлозията на атомната бомба, се равнява на енергията, освободена при възпламеняването на такова количество тротил, какъвто е тротиловият еквивалент на бомбата. Поразяващото действие на атомната бомба е съвсем различно от това на еквивалентното ѝ количество тротил, хвърлено върху същата цел под формата на обикновени авиобомби. Наистина при равномерното разпределение на последния във вид на средни авиобомби освободената енергия остава същата, но разрушителното действие ще бъде много по-голямо, отколкото при експлодирането му на едно място. Така например тротиловият еквивалент на атомната бомба, хвърлена над Хирошима, както вече казахме, е бил 20 хиляди тона, а нейното действие се равнявало на действието на 1500 тона обикновени фугасни и запалителни бомби. Въпреки това атомната бомба е оръжие с голяма разрушителна сила.

3. ПОСТРОЯВАНЕ НА ПЪРВИТЕ АТОМНИ БОМБИ

Първата атомна бомба беше построена през 1945 г. в Съединените американски щати. Тя обаче не е изобретение на отделен човек. За нейното създаване беше ангажиран грамаден колектив от учени, в който влизаха голям брой европейски — предимно немски, унгарски и италиански — физици, избягали от фашистките режими и потърсили убежище в САЩ. Безспорно в работата по нейното създаване взеха участие и видни американски и английски учени, обаче по думите на Р. Леп „ако американските учени се бяха опитали да осъществят своите атомни планове без пряката помощ на много европейски изследователи, изпробването на атомната бомба естествено не би могло да стане в 1945 г.“[2]. По-нататък същият автор заявява: „Ако ние се ползувахме от услугите само на чистокръвните американци, ние бихме погубили нашия атомен проект.“ Научните предпоставки за построяването

[1] Критичната маса може да бъде намалена до известна степен чрез употребата на подходящи отражатели на неутроните, които връщат част от изтичащите навън неутрони обратно към реагиращия ядрен заряд.

[2] Р. Леп, Новата сила, стр. 43, изд. 1955 г.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

на атомната бомба бяха създадени от големите успехи на физиката на атома и атомното ядро и учението за строежа на веществото изобщо. В научната разработка на тези въпроси участвуваха няколко поколения физици от целия свят. По този въпрос Р. Леп казва: „Тези принципи, въз основа на които бе създадена американската бомба, бяха разработени от гения на учените от различни страни: от лорд Рутерфор (Англия), от професор Айнщайн (Германия), от съпрузите Жолио-Кюри (Франция), Ферми (Италия), от Хан и Щрасман (Германия), Бор (Дания). Този дълъг списък включва учени почти от всички европейски страни, в това число и от Русия“.[1]

Фиг. 32. Общ изглед от американския атомен център Окридж

За техническото усъвършенствуване на проекта за създаване на атомна бомба, известен под името „Манхатенски проект“, били изразходвани 2 милиарда долара. В долината на река Тенеси (САЩ), на около 48 км от Ноксвил, бил построен огромен атомен център с около 70 постройки. Само заводът за разделяне на изотопите на урана заема площ около 243 декара. Той представлява грамадно четириетажно здание под формата на гигантско П с обща дължина 1600 метра. При пускането му в действие през 1944 г. в него са работили 11 хиляди души[2]. Любопитно е това, че голяма част от тях били в пълно неведение относно характера на изпълняваната от тях работа.

По-късно атомният център бил разширен. Около него израснал голям град, известен под името Окридж (фиг. 32).

[1] Р. Леп, Новата сила, стр. 43, изд. 1955 г.

[2] Сега в атомната промишленост на САЩ са ангажирани повече от 200 хиляди души, а капиталовложенията на тази промишленост надминават 10 милиарда долара.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Разделянето на изотопите на един елемент, както изтъкнахме по-рано, може да стане по няколко метода. Всички те използуват разликата в масите на атомите на различните изотопи за тяхното разделяне. В Окридж разделянето на изотопите на урана се извършва по метода на газовата дифузия, като за целта се използува урановият хексафлуорид.

Там било построено също така съоръжение за получаване на плутон. То представлява графитен ядрен реактор. Този реактор бил построен в 1943 г. Той служел за получаване на малки количества плутон и същевременно бил използуван като опитен образец за разработване на други по-мощни производствени уредби за получаване на плутон, предназначен за направата на атомни бомби.

През пролетта на 1943 г. на брега на р. Колумбия — щата Вашингтон, започнал строежът на три грамадни съоръжения за получаване на плутон. За целта била запазена една територия от 1,400 кв. км, в която попаднали градовете Хенфорд и Ричленд. В строителните работи били ангажирани голям брой землекопачни и др. строителни машини и 75 хиляди души работници. Първият от хенфордските атомни котли бил пуснат в действие през септември 1944 г., а останалите два се предвиждало да бъдат пуснати до края на същата година. Всяко едно от тези съоръжения представлявало огромно предприятие. Известна представа за тяхната големина можем да добием, като имаме предвид, че за охлаждането само на един от ядрените котли се изразходва толкова вода, колкото се консумира от един 300-хиляден град.

Отделянето на плутона от урана, който е бил облъчван в ядрените котли, се оказало също така извънредно трудна работа. Освен плутон в облъчваните в реактора уранови блокове се натрупват и голям брой радиоактивни отпадъчни материали, които в началото били много „горещи", т. е. тяхната радиоактивност била толкова силна, че се налагало да бъдат оставени под дебел воден слой в продължение на два месеца, за да се „поохладят". През това време по-голямата част от най-силно излъчващите радиоактивни примеси се разпада. Радиоактивното им лъчение намалява, но не изчезва напълно. Затова всички по-нататъшни механически и химически операции, на които били подлагани урановите блокове, се извършвали от разстояние, със специални дистанционни уреди и механизми. Така „изстиналите" блокове били пренесени в специален бетонен бункер, където били подлагани на химическа обработка. Най-напред се разтваряла тяхната алуминиева покривка. После в резултат на редица химически операции плутонът се отделял от урана, пречиствал се от радиоактивните отпадъци и се пазел в специални, херметически затворени касетки от неръждаема стомана, складирани в специални, добре охранявани помещения. Оттук по-късно касетките с плутон били пренесени в специалната секретна лаборатория, построена в Лос Аламос — щата Нюмексико. Там плутонът и уран 235, донесени от Окридж, били използувани за направата на първите атомни бомби. Конструирането на самата атомна бомба било извършено в тази именно лаборатория от група видни учени и военни специалисти.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

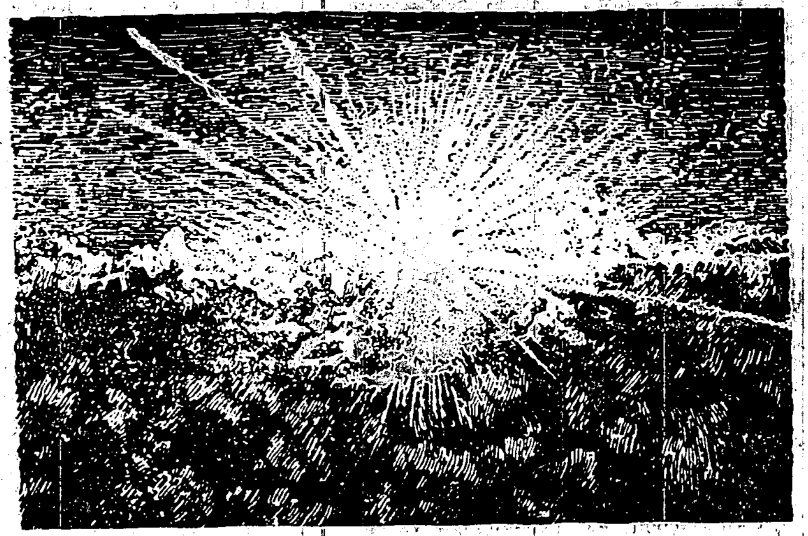
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Първата атомна бомба, заредена с плутон, била изпробвана в пустините на щата Нюмексико, близо до Аламогордо, на 16 юли 1945 г.

На 6 август 1945 г. американците хвърлиха една атомна бомба над японския град Хирошима, а три дена след това — друга такава бомба над Нагазаки. Жертва на тези престъпни „опити" станаха повече от 200 хиляди японски граждани.

4. АТОМЕН ВЗРИВ И НЕГОВИТЕ ПОРАЗЯВАЩИ ФАКТОРИ

Експлозията е процес, при който на дадено място за извънредно кратко време се отделя голямо количество енергия. Силата на експлозията зависи не само от количеството на отделената енергия, но и от времето, за което тя се отделя. Колкото по-късо е това време, толкова по-силна е експлозията.



Фиг. 33. Избухване на въздушна атомна експлозия

Времетраенето на една обикновена експлозия е около една стохилядна част от секундата. Времетраенето на атомната експлозия е около милионна част от секундата. Това прави нейната мощност още по-голяма.

Мощността, която развива експлозията на един килограм тротил, се равнява на мощността, която биха развили 1 милион и 200 хиляди ковачи, ако ударят едновременно в една и съща точка с 10-килограмови чукове. Като се има предвид, че един килограм атомен експлозив отделя енергия, колкото 20 хиляди тона тротил за 10 пъти по-кратко

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

време, излиза, че мощността, която развива експлозията на един килограм ядрен експлозив, е около 200 милиона пъти по-голяма от мощността на същото количество тротил. Ако искаме да изразим тази мощност с ковачи както при тротила, трябва да прибегнем до услугите на 240 билиона души. За целта сигурно не биха стигнали всички възрастни мъже, които са живели на земята от появата на човешкия род до днес.

Фиг. 34. Фотография на гъбовидния облак, получен след атомната експлозия над Хирошима.

При експлозията на обикновени бомби температурата достига 3500 до 4000 градуса, а налягането — до 300 хиляди атмосфери.

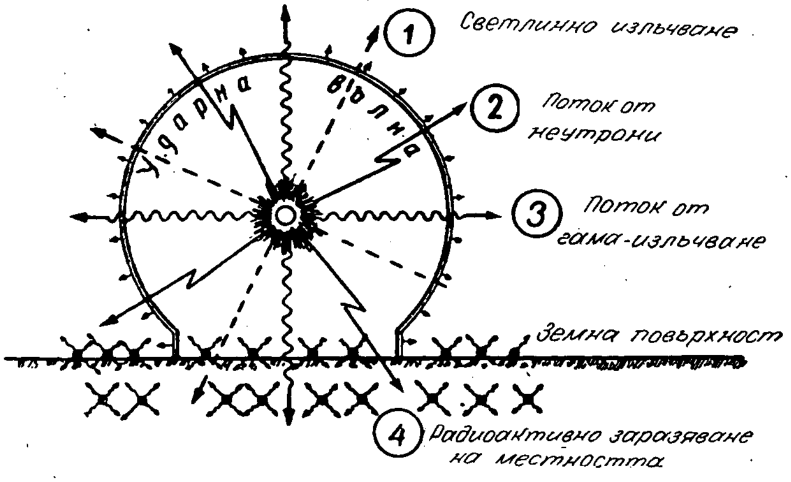
При експлозията на една атомна бомба както тази, хвърлена над Хирошима, температурата стига до няколко десетки милиона (около 50 милиона) градуса, а налягането — до няколко милиона атмосфери. Експлозията се съпровожда от силен светлинен импулс, който озарява цялата околност с ослепителна светлина (фиг. 33) и може да се види от около 250 километра разстояние. Силен трясък като гръмотевица се чува на няколко десетки километра. Поради извънредно високата температура атомите на веществата, които се получават от мигновеното изпарение на обвивката на бомбата, от продуктите на разпадането на атомния заряд и от околния въздух, силно се йонизират и се превръщат в оголени ядра. От тях се получава едно огнено, светещо кълбо, във вътрешността на което има свръхвисоко налягане. Това кълбо се разширява със свръхзвукова скорост и за няколко десети от секундата диаметърът му достига до няколкостотин метра. Едновременно с това налягането във вътрешността му пада до атмосферното. Температурата му също бързо се понижава, но все пак остава много по-висока от температурата на слънчевата повърхност. Така например температурата на повърхността на огненото кълбо в момента на максималното му разширение е около 10 хиляди целзиеви градуса. След това за две-три

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

секунди тя пада до 2000 градуса, през което време се поддържа от енергията, освободена при рекомбинацията на електрони с оголените ядра на огненото кълбо и от образуването на азотни и други окиси. След завършването на тези процеси огненото кълбо постепенно потъмнява, бързо се издига нагоре и се превръща в кълбовиден облак. Едновременно с това от земята се издига нагоре стълб от прах и пушек, в резултат на което се получава висок гъбовиден облак с тъмносив или кафяв цвят с розови отблясъци, който за две-три минути стига височина 10—15 километра (фиг. 34).

Както споменахме по-рано, атомната експлозия бива въздушна, надземна или подземна, надводна или подводна. В зависимост от това нейният външен вид и нейното поразяващо действие се менят. Атом-



Фиг. 35. Схема на поразяващите фактори при атомния взрив

ният взрив поразява с ударната си взривна вълна, с интензивното си светлинно лъчение, с проникващата радиация и с радиоактивното заразяване на въздуха и местността от продуктите на делението и изкуствено радиоактивните вещества, получени от обвивката на бомбата и в почвата под действието на неутроните (фиг. 35). Тези действия на атомния взрив ще бъдат разгледани по отделно, след което ще се спрем на някои особености на атомния взрив в зависимост от мястото, където той е произведен.

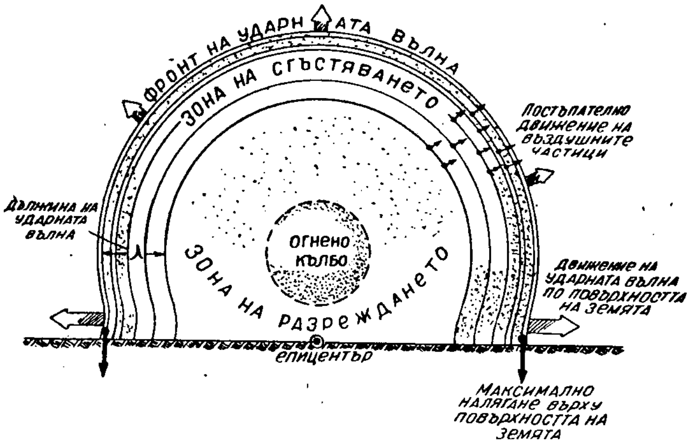
5. УДАРНА ВЪЛНА НА АТОМНИЯ ВЗРИВ

Ударната вълна е **главният** поразяващ фактор при една атомна експлозия. На нея се пада повече от половината на освободената при експлозията енергия. Смята се, че 55% от загиналите и ранените при атомните нападения над японските градове Нагазаки и Хирошима са пострадали от взривната вълна.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Качествено взривната вълна от атомната експлозия не се различава от обикновената експлозия, само че е много по-мощна от нея. Нейната разрушителна сила е толкова по-голяма, колкото по-голям е тротиловият еквивалент на експлозията и колкото по-малко е разстоянието от центъра на експлозията.



Фиг. 36. **Въздушна ударна вълна на атомния взрив**

Ударната вълна на атомната експлозия се образува вследствие силното уплътняване на въздуха пред бързо разширяващото се огнено кълбо.

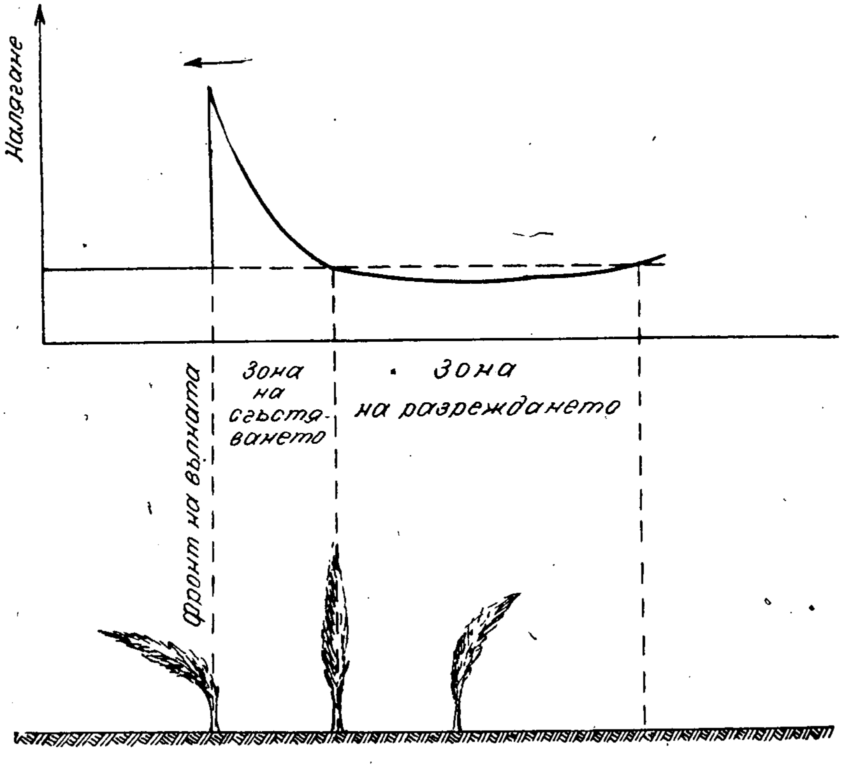
Докато трае разширението на огненото кълбо, околният въздух е подложен на огромно налягане. Въздушните частици се движат напред пред неговата бързо раздуваща се повърхност и силно се уплътняват. Към края обаче, когато разширяването му се забави, това уплътняване се откъсва от него и под формата на ударна вълна се разпространява във всички посоки със свръхзвукова скорост (фиг. 36). Отначало тази скорост надминава един километър в секунда, но с отдалечаването от центъра на експлозията постепенно намалява и на разстояние 10—15 километра тя се изравнява със скоростта на звука.

Въздушната ударна вълна следователно представлява з о н а н а с и л н о с г ъ с т е н в ъ з д у х с високо налягане, която се отдалечава от мястото на взрива със свръхзвукова скорост. След нея следва з о н а н а р а з р е ж д а н е, в която налягането е по-ниско от атмосферното. Изменението на налягането в различните части на ударната вълна е показано на фиг. 37. На предната част на вълната налягането се покачва изведнъж със скок от атмосферното налягане, каквото имаме в местата, незасегнати още от ударната вълна, до една максимална стойност. Тази част на вълната се нарича ф р о н т н а у д а р н а т а в ъ л н а. Навътре налягането постепенно пада и в зоната на разреждането става по-ниско от атмосферното, след което отново постепенно се изравнява с него. Ударната вълна е рязко очертана отпред, докато

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

от задната страна има неясни контури. Широчината на зоната на сгъстяването е към 100—200 метра и зависи от тротиловия еквивалент на експлозията и от разстоянието до центъра на взрива. Тази широчина се нарича дължина на ударната вълна. В нея въздушните частици се движат постъпателно напред — в посока на разпространението на вълната, със скорост няколко стотинметра в секунда, а в зоната на разреждането движението на въздушните частици е в обратна посока. Следователно ударната вълна като цяло представлява колебателно движение на въздуха с грамадна амплитуда и огромна разрушителна сила.



Фиг. 37. Изменение на налягането в различни части на ударната вълна

Взривната ударна вълна действува разрушително върху срещнатите от нея предмети непосредствено с удара на високото си статично налягане, към което се добавя и допълнителното динамично налягане, създадено от напора на движещите се напред въздушни маси от фронтовата част и зоната на сгъстяването.

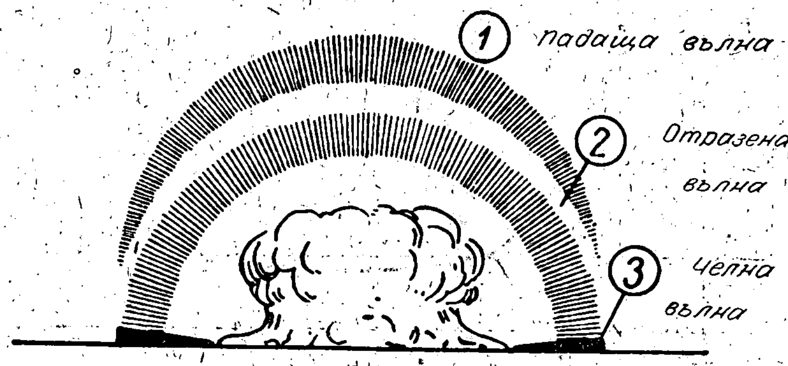
Допълнителното динамично налягане, наричано още налягане на отражението или скоростен напор, възниква от

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

тази страна на предмета, която е обърната към центъра на експлозията. Ако предметът е неподвижен и ударната вълна пада перпендикулярно на неговата повърхност, допълнителното налягане на отражението, което се създава, може да надмине два-три пъти налягането в свободно разпространяващата се ударна вълна.

Когато ударната вълна на една въздушна атомна експлозия достигне земната повърхнина, тя се отразява и в приземния въздушен слой, засегнат от вълната, се създава една зона на повишено налягане, която се разпространява по земната повърхнина под формата на една плъзгаща се **челна вълна** с особено голяма разрушителна сила (фиг. 38).



Фиг. 38. Схема за образуване на челна ударна вълна

Когато ударната вълна засегне дадено място, получава се впечатление, че там внезапно е връхлетял краткотраен ураган със страхотна сила, който продължава само една-две секунди и събаря всичко по пътя си.

Ударната вълна е в състояние да разрушава сгради, мостове и различни военни съоръжения, да обръща танкове, оръдия, камиони и други превозни средства, да изкоренява дървета, да увлича тежки предмети, да убива хора и животни и пр. При сухо време тя вдига огромни облаци прах. Увлечените тежки предмети, като камъни, тухли, дървени греди, железни парчета и пр., действуват като вторични снаряди и косвено още повече увеличават нейната поразяваща сила. С отдалечаването от центъра на експлозията енергията на ударната вълна постепенно намалява и на достатъчно голямо разстояние тя се възприема като обикновен вятър, придружен с глух, тътнеж от експлозията.

Известна представа за разрушителното действие на повишеното налягане на фронта на ударната вълна върху различни типове сгради можем да добием от следните данни:

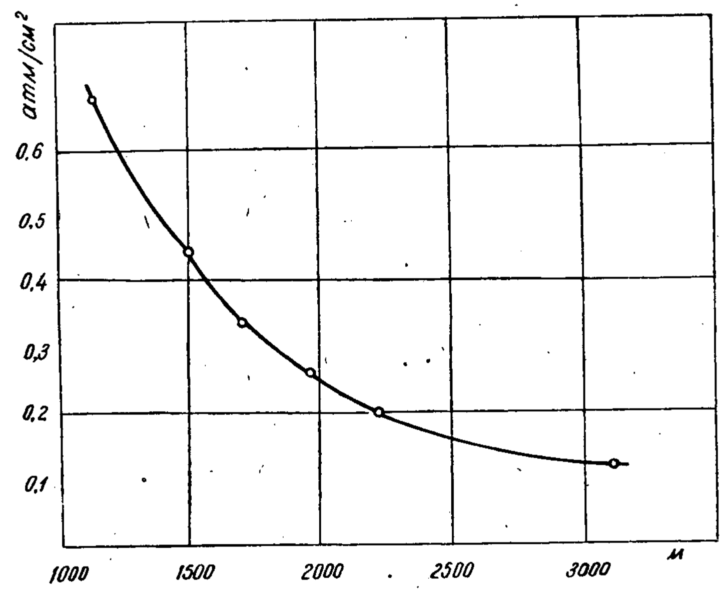
а) За многоетажни тухлени здания за пълно разрушение е необходимо повишение на налягането с 0·3—4 кг на см^2, за силно раз-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

рушение — 0·20—0·30, за средно разрушение 0·10—0·20, за слабо разрушение 0·05—0·10, за повреждане — 0·03—0·05.

б) За няколкоетажни тухлени здания за пълно разрушение — 0·35—0·45 кг на см², за силно разрушение — 0·25—0·35, за средно разрушение — 0·12—0·25, за слабо разрушение — 0·07—0·12 и за повреждане — 0·03—0·6.



Фиг. 39. **Изменение на свръхналягането на ударната вълна от една 20,000-тонова атомна експлозия в зависимост от разстоянието**

в) За здания с метадическа конструкция за пълно разрушение са необходими 0·6—0·8 кг на см², за силно разрушение — 0·3—0·6, за средно разрушение — 0·2—0·3, за слабо разрушение — 0·05—0·2 и за повреждане — 0·03—0·05.

г) За дървени къщи за пълно разрушение — 0·20 — 0·30 кг на см², за силно разрушение — 0·12—0·20, за средно разрушение — 0·08—0·12, за слабо разрушение — 0·06—0·08 и за повреждане — 0·03—0·06.

На фиг. 39 е представено графично покачването на налягането на фронта на ударната вълна от една атомна експлозия с тротилов еквивалент 20,000 тона в зависимост от разстоянието до центъра на експлозията, изразено в метри.

От тази графика и от дадените по-горе данни за разрушителното действие на повишеното налягане на ударната вълна могат да се изчислят радиусите на разрушенията за различни типове огради.

Максималното налягане, което се получава от ударната вълна, при взрива на една обикновена атомна бомба 1000 кг на разстояние 500 м,

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

е 0·15 кг/см². За атомната бомба малък калибър на същото разстояние налягането е 10—15 пъти по-голямо.

Хората получават опасни поражения от прякото действие на ударната вълна, когато налягането се покачи с 2 кг/см², докато статични налягания до 10 кг/см² се понасят напълно безболезнено.

Налягане на ударната вълна, по-малко от 0·2 кг/см², хората понасят, а при налягане 0·4—0·6 кг/см² губят слуха си.

Най-голямо разрушително действие атомната бомба оказва, ако експлодира на височина 500—600 м от земята, т. е. когато имаме въздушен взрив. Атомните бомби, хвърлени над градовете Хирошима и Нагазаки в края на Втората световна война, са избухнали на височина около 600 метра.

Обемът на разрушенията, причинени от ударната вълна в едно населено място, е в пълна зависимост от разстоянието на сградите до епицентъра на взрива, от здравината на конструкцията им и от тяхното положение по отношение направлението на ударната вълна, от взаимното им разположение, от широчината на улиците и от конфигурацията на терена.

На най-големи разрушения са изложени зданията и надземните съоръжения. По-устойчиви се оказват вкопаните съоръжения и особено подземните.

Най-слаби и неустойчиви на действието на ударната вълна са дървените и паянтови постройки. При избухването на атомните бомби над споменатите вече японски градове разрушенията на паянтовите къщи, които са преобладавали в тези населени места, са достигнали в Хирошима от 2·5 до 3 км, а в Нагазаки от 3·5 до 4 км от епицентъра. Поточно при експлозията над Хирошима в зона с радиус 1500 до 2000 м сградите били напълно унищожени, а с радиус 2200—2400 метра получили тежки повреди. Покривите на сградите били повредени на 3200 м, а стъклата на прозорците изпочупени на разстояние 3600 метра от епицентъра на експлозията.

Тухлените здания имат сравнително по-голяма устойчивост. При тях радиусът на разрушенията се намалява 1·5—2 пъти в сравнение с паянтовите постройки.

Железобетонните сгради и скривалищата под земята могат да устоят на ударната вълна и в непосредствена близост с епицентъра на атомния взрив. Така например масивното железобетонно здание в Хирошима с противоземетръсна конструкция, което се намирало само на 270 м от епицентъра на експлозията, получило незначителни повреди. Повредени били покривът, вратите и решетките на прозорците. Незначителни били повредите и на железобетонното училище в Нагазаки, което се намирало на 700 м от центъра на разрушенията. В затвора на Нагазаки, който се намирал на 800 м от епицентъра на експлозията, от 211 затворници загинали само 31. Изобщо смята се, че железобетонните сгради се повреждат сериозно или биват разрушавани в зона с радиус 600—800 м, а над 800 м конструкцията им остава здрава. Европейските градски сгради могат да бъдат разрушени от 20-килотонова бомба в радиус до 900 м, а до 1600 м ще бъдат тежко повредени.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Скривалищата се оказали също много устойчиви на действието на взривната вълна. Така например в Хирошима на разстояние 257 м от епицентъра на взрива пострадали само 50% от лекия тип убежища, устроени против въздушните нападения, които са имали земен насип 45—60 см. На разстояние 600 м не били забелязани разрушения на такива убежища.

Даже най-обикновените укрития, като окопи, траншеи, ровове, както и различни канавки, ями от снаряди и т. н., предпазват личния състав от действието на ударната вълна.

Радиусът на опасната от поражения зона при атомна експлозия за хората, които се намират в траншеи, ще бъде 1·5—2 пъти по-малък, отколкото за хора на открито.

Когато хората се намират в убежища, особено в подземен тип, радиусът на поражаемата зона ще бъде значително по-малък.

Трябва да се има предвид, че ударната вълна, която се разпространява в едно населено място, действува не само вертикално, но и хоризонтално. Хоризонталното ѝ действие се усилва от обстоятелството, че тя се разпространява по протежение на улиците и когато срещне някое здание, проявява особено силно разрушително действие. Ниските сгради и приземните съоръжения изпитват много по-малък натиск, отколкото високите постройки. Зад зданията, които се намират в сферата на действието на атомния взрив, се образува зона, в която не действува скоростният страничен напор. Съоръженията, попаднали в такава зона, изпитват сравнително най-слаб натиск. Големите здания създават така наречените сенки, в които попадналите по-малки сгради са сравнително по-добре запазени. Така например къщите на работниците, разположени зад заводските корпуси в Нагазаки, на разстояние 1·8—2 км от епицентъра на взрива са били засегнати по-малко от къщите, разположени на разстояние 3 км.

Планините, хълмовете, горите и силно пресечената местност намаляват силата на ударната вълна и обсега на разрушителното ѝ действие. Трябва да се има предвид обаче, че в долините, по посока на нейното разпространение, действието ѝ е по-силно. Атомната бомба, хвърлена над Хирошима, извършила разрушение на площ от 10 кв. мили, а тази, хвърлена над Нагазаки — на 4 кв. мили. Това се обяснява с хълмистия терен, на който е разположен Нагазаки.

В населените места много опасно е косвеното действие на ударната вълна. На значителни разстояния могат да бъдат наранени гражданите от отделни хвърчащи предмети, отломки от здания и съоръжения, които летят с голяма скорост. Например тежки наранявания получили жителите на японските градове от отделни парчета на разстояние до 2000 метра от епицентъра на взрива, а в същото време отделни жители на разстояние 750 метра от непосредственото действие на ударната вълна са получили по-малки поражения. Максималното разстояние, на което са били наблюдавани наранявания от косвеното въздействие на ударната вълна в Нагазаки, е било 3700 метра.

От непосредственото действие на ударната вълна човек, който се намира на открито, може да получи леки или средно тежки нараня-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

вания. Ако е прав, скоростният натиск на ударната вълна може да го отхвърли на 10 и повече метра.

Горните данни показват, че единственият начин да се предпазят гражданите от действията на ударната вълна е задължителното скриване в убежищата, близките мазета, отделни ями и др., но в никакъв случай не бива да се остава на открито и още по-малко прав.

Според данни на английската комисия за изучаване действието на атомните бомби, хвърлени над Хирошима и Нагазаки, смъртността на незащитени хора в зависимост от разстоянието от епицентъра на взрива е следното: до 900 метра загиват 100%, от 900 до 1350 метра — 50%, от 1350 до 2250 м — 15% и от 2250 до 2700 метра загиват 2%.

Мнението на комисията е, че в повечето случаи хората загиват от парчетата или биват затрупвани от събарящите се сгради.

Общо броят на убитите и ранените при атомните нападения над тези градове според данни, публикувани в западния печат, възлиза на около 215 хиляди души. Възможно е тези цифри да не са съвсем верни, но безспорно е, че жертвите от тези атомни нападения са били много големи. Това се дължи на обстоятелството, че нападенията са били извършени ненадейно, в момент, когато по-голямата част от жителите им са били по улиците или по домовете си и са били изложени на прякото действие на атомния взрив и на ударите на хвърчащи предмети и събарящи се сгради. Ето какво се казва в докладите на специалната служба при американските въздушни сили за стратегически бомбардировки относно условията, при които е било извършено атомното нападение над Хирошима: „Повечето от индустриалните работници бяха вече на работа, но много работници бяха на път за заводите (атомната експлозия избухнала в 8.15 ч. сутринта), а почти всички деца от училищата и известен брой административни чиновници в индустрията работеха на открито, като събаряха сгради за борба срещу пожарите и пренасяха ценности вън от града. Нападението дойде 45 минути след като сирените бяха свирили „отбой" след една предшествуваща тревога. Поради липса на предупреждение и поради равнодушието на населението към малки групи самолети експлозията беше почти пълна изненада и хората не бяха потърсили убежище. Много бяха на открито, а почти всички останали — в паянтови къщи или слабопостроени търговски заведения".[1]

По-нататък в същите доклади се казва: „Изненадата, срутването на множество сгради и внезапните пламъци допринесоха за големия брой жертви. Седемдесет до осемдесет хиляди души бяха убити или в неизвестност и вероятно мъртви, а почти същото число — ранени.

Естествено е, че ако по време на нападението хората бяха в скривалищата, броят на жертвите щеше да бъде много по-малък."

---

[1] **Атомната война, проф. П. Блякет, стр. 55 и 56, София, 1949.**

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

6. СВЕТЛИННО ИЗЛЪЧВАНЕ НА АТОМНИЯ ВЗРИВ

Атомната експлозия поразява не само с ударната си вълна, но и с необикновено силния светлинен импулс и изгарящото и възпламеняващо действие на огненото си кълбо. Около 30% от енергията, освободена при една въздушна атомна експлозия, се излъчва под формата на светлина и топлина. При атомните нападения над Хирошима и Нагазаки 30% от жертвите се дължат на светлинното излъчване. Колкото по-голям е калибърът на атомната бомба, толкова по-голям е процентът на пораженията, дължащи се на нейното светлинно действие.

Светлинно избухване се наблюдава и при обикновените експлозии, но то трае само една хилядна или една стотна част от секундата и няма никакво поразяващо действие. Съвсем друга е картината при една ядрена (атомна или термоядрена) експлозия. Огненото кълбо, което се образува при една такава експлозия, има размери от няколкостотин метра до няколко километра в диаметър, в зависимост от силата на експлозията. Температурата му в продължение на няколко секунди остава по-висока от температурата на слънчевата повърхнина. В самия център на експлозията, докато още бомбата не се е пръснала, температурата е няколко милиона градуса. След избухването тя бързо пада, но до момента на максималното разширение на огненото кълбо остава по-висока от 10 хиляди целзиеви градуса. През това време светлинната енергия, излъчена от повърхността на огненото кълбо, стига огромна мощ, надминаваща 60 киловата от квадратен сантиметър, а излъчената светлина се състои предимно от ултравиолетови лъчи, които предизвикват силни възпаления на кожата, на слизеститеципи на очите и действуват ослепяващо на ретината. Две-три секунди след това температурата на огненото кълбо спада до към 2000 градуса, а излъчването му се премества през видимата част на спектъра към инфрачервената. През тази фаза на изстиване топлинното действие на огненото кълбо е особено силно и предизвиква пожари и силни изгаряния на откритите части на тялото, стигащи чак до овъгляване, на разстояние на няколко километра от епицентъра на експлозията. Следователно от момента на атомната експлозия до появата на най-голямата горещина изтичат няколко секунди, които са напълно достатъчни, за да се вземат мерки за защита от нея. Около 10 секунди след атомната експлозия светенето изчезва напълно.

Областта от земната повърхност, обхваната от огненото кълбо (при надземен взрив), образува зона на пълното изгаряне и унищожение. Всички попаднали в нея предмети изгарят моментално. Металните предмети и горният слой на почвата се разтапят и частично се изпаряват, като след изстиването си някои видове почви се остъкляват.

Интензивното излъчване на огненото кълбо създава един значителен светлинен и топлинен импулс на повърхността на околните предмети и предизвиква запалване, овъгляване или повърхностно разтапяне. Светлинният импулс се измерва с количеството енергия, паднала за цялото време на облъчване върху един квадратен сантиметър осветена

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

повърхнина, разположена перпендикулярно на лъчите. Пораженията обаче зависят не само от големината на светлинния импулс, но и от цвета на предмета (от отражателната му способност), от топлопроводността му и от топлинния му капацитет. Белите предмети се запалват по-мъчно от черните и следователно белите дрехи предпазват по-добре от черните, дървото по-силно от металите, пясъкът повече от скалите и пр. Черната повърхност поглъща 10 пъти по-добре от бялата. Така например светлинен импулс от една калория на квадратен сантиметър за секунда загрява един грам вода на един градус, черна дървена повърхност — почти до сто градуса, а бяла — до десет градуса. Човешката кожа при тези условия се загрява с 20 градуса. При светлинен импулс на атомния взрив от две калории на квадратен сантиметър за секунда се получават леки обгаряния на кожата. Поразяващото действие на светлинното излъчване зависи също така от естеството на излъчената светлина и от състоянието (чистотата) на атмосферния въздух. Ултравиолетовите лъчи с дължина на вълната под 0·185 микрона се поглъщат напълно от слой кислород при нормални условия с дебелина един метър. Поради това на известно разстояние тези лъчи ще липсват в спектъра на лъчението. Видимата светлина се поглъща от праха и пушека, а инфрачервената — от водните пари. Следователно интензитетът на лъчението и неговият състав ще зависят силно от състоянието на атмосферата — от съдържанието в нея на водни пари, прах, мъгла, облаци, дъжд, сняг и пр. Размерът на пораженията от светлинното лъчение зависи и от височината, на която се извършва експлозията. При надземен взрив пораженията намаляват, а при подземен или подводен взрив изчезват напълно. При 20-килотонова експлозия на 600 метра височина температурата на земната повърхнина в епицентъра на експлозията се покачва моментално до 2000—3000 градуса и бързо пада с увеличаване разстоянието, но все пак остава достатъчно висока, за да предизвика пожари и изгаряния в един обширен район. Небоядисани дървени предмети се запалват на разстояние до 1500 метра от епицентъра на експлозията, леснозапалими предмети, като книги, пердета и пр. — до 1800 метра, тежки обгаряния се получават на разстояние до 2000 метра, а леки до 4000 м. Тези данни важат за случаи на хубаво ясно време. Под непосредственото действие на светлинното лъчение могат да се запалят горите, узрелите жита, купите сено, слама и т. н. Пламъците на пожарите, избухнали вследствие светлинния импулс на огненото кълбо, биват загасявани от наскоро пристигналата след това въздушна ударна вълна, поради което опасността от тях не е така голяма. След това обаче избухват нови по-стихийни вторични пожари от повреди в газови инсталации, печки, контакти, късо съединение на електрически проводници и пр., които при липсата на възможност да бъдат потушени нанасят големи щети.

При атомните нападения на Нагазаки и Хирошима поради настъпилата дезорганизация на противопожарната служба избухналите пожари не били локализирани и безпрепятствено бушували дълго време.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

В резултат на това в Хирошима били унищожени всички дървени постройки в район с радиус 3000 метра.

Мащабът и бързината на разпространяването на пожарите, а следователно и щетите, които се причиняват от тях, зависят от конструкцията на отделните здания, от планирането на населения пункт, от възможностите и организацията на противопожарната защита, от готовността на населението да се бори с пожарите, от годишното време и от метеорологическите условия.

Светлинното лъчение нанася поражение не само с топлинното, но и със светлинното си действие. Извънредно силният блясък на огненото кълбо и на силното светлинно избухване в момента на самата експлозия при пряко наблюдение на средна експлозия от 10 километра може да предизвика временно или постоянно загубване на зрението. От силния блясък се повреждат светлочувствителните телца на ретината и при по-тежки изгаряния зрението се загубва завинаги. Под действието на ултравиолетовите лъчи става възпаление на слизестите ципи и роговицата на окото. Появява се сълзотечение, придружено с болки и светлобоязън. Изгарянията от ултравиолетовите лъчи се проявяват 6—8 часа след облъчването.

Поради праволинейното разпространение на светлината пораженията от светлинния импулс засягат само осветената страна на телата, т. е. тази страна, която е обърната към експлозията. Обратната страна остава незасегната. Всеки непрозрачен предмет, дърво, дреха, платнище, стена на окоп и пр. може да ни предпази от изгаряне. Този въпрос обаче ще бъде разгледан подробно по-нататък.

7. ПРОНИКВАЩА РАДИАЦИЯ НА АТОМНИЯ ВЗРИВ

Освен светлина и топлина при атомния взрив се получават силно радиоактивно и неутронно лъчение. Тези лъчения се получават в резултат на делението на ядрата на атомния заряд, а също така и при разпадането на продуктите от делението. Радиоактивното излъчване се състои от алфа-, бета- и гама-излъчвания. Както видяхме, алфа- и бета-излъчванията се поглъщат силно от въздуха и в момента на експлозията нямат никакво значение като поразяващ фактор. Съвсем друго е отнасянето на гама-излъчването и на неутроните. Те проникват през дебели материални прегради и през въздушен слой, дебел няколко километра.

Гама-лъчението на атомния взрив има сложен спектър, т. е. състои се от фотони с най-различни дължини на вълните. Поради това проникващата му способност не е строго определена. Средно интензитетът на гама-лъчението на атомния взрив отслабва стократно едва след преминаването му през 8—10 сантиметра олово, 50—60 сантиметра бетон или около един метър пръст, а един и половина метра пръст или 70—80 см бетон го отслабват 1000 пъти.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Неутронното лъчение притежава още по-голяма проникваща способност от гама-лъчите. За разлика от тях неутроните почти не взаимодействуват с електроните, а само с атомните ядра. В резултат на тези взаимодействия те търпят поглъщания или еластично разсейване със забавяне. Колкото по-леки са ядрата, толкова по-силно е тяхното забавящо действие върху неутроните. Поради това неутроните сравнително лесно преминават през дебели слоеве олово и др. тежки метали, но силно се забавят при преминаване през вещества, изградени от леки елементи, като водород, берилий, бор, въглерод и др. Така забавените неутрони извънредно силно се поглъщат от бора, кадмия и др. някои елементи.

Поразяващото действие на проникващото лъчение е пропорционално на неговата доза. Както казахме по-рано, пределната допустима доза за системно облъчване е 0·05 рентгена на ден. При еднократно облъчване на цялото тяло човек може без никакви последствия да понесе доза 25 рентгена. При 50 рентгена настъпват незначителни временни изменения в кръвта. Доза от 100—200 рентгена предизвиква леко заболяване от лъчева болест, която се характеризира с повишаване на температурата, отпадналост, липса на апетит и главоболие. При по-големи дози се наблюдава намаляване броя на белите кръвни телца и опадане на косата. Появяват се умъртвени (некротични) участъци и кръвоизливи (хеморагични гнезда) в белия дроб, далака, черния дроб, мозъка и червата. Получават се кръвотечения от слизестите ципи и червата (хеморагичен синдром), което предизвиква обилна кървава диария, придружена с висока температура. Проникващата радиация засяга кръвотворния апарат в организма, като атакува главно костния мозък и лимфатичните жлези. Организмът силно се изтощава, неговите защитни средства намаляват.

Болестта започва няколко часа, дни или седмици след облъчването и продължава 3—4 месеца, като обикновено завършва с оздравяване. Лекува се чрез почивка, силна храна и общо засилване на организма. Различните хора имат различна устойчивост спрямо лъчевата болест. По-здравите натури заболяват по-трудно и изкарват болестта по-леко. Сред прекаралите лъчева болест процентът на заболелите по-късно от левкемия е по-висок от средния процент на заболяване от тази болест сред останалите граждани. При 400—500 рентгена заболяването е по-тежко и много от случаите завършват фатално. Доза над 600 рентгена за една минута се смята като опасна, а при еднократно облъчване с доза 700 рентгена почти 100% от случаите завършват със смърт.

Такава опасна доза се получава на около 800 метра от атомния взрив с нормална сила (20 килотона тротил). На 1200 метра смъртността е около 50%, а на повече от 2000 метра пораженията от проникващата радиация са нищожни. Следователно зоната, в която проникващата радиация нанася поражения, е малко по-малка от опасната зона на взривната вълна и светлинно-топлинната радиация.

При поглъщането на неутроните от някои елементи, които влизат в състава на почвата, водата и човешкото тяло, се получават дълго живущи изкуствени бета- и гама-радиоактивни изотопи, чието лъчение

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

може да даде опасна доза облъчване. Така например натрият, силицият, алуминият и др. елементи (някои от които са много разпространени) под влияние на неутроните стават бета- или бета- и гама-радиоактивни и създават допълнителна опасност за хората и животните.

Проникващата радиация в населените пунктове има твърде малък ефект. Големите здания и различните съоръжения в значителна степен ограничават нейното действие. Броят на смъртните случаи в Хирошима и Нагазаки от лъчева болест, предизвикана от проникващата радиация, представлява 5—15% от общия брой на загиналите. Изобщо смята се, че от всички поразяващи фактори на атомния взрив проникващата радиация има най-малко значение.

8. РАДИОАКТИВНО ЗАРАЗЯВАНЕ НА МЕСТНОСТТА ПРИ АТОМЕН ВЗРИВ

Познатият ни вече гъбовиден облак, който се получава след атомната експлозия, е силно радиоактивен. Той носи голямо количество радиоактивен прах, пепел и пушек. Те се получават от непрореагиралия напълно ядрен експлозив, от продуктите на делението, от обвивката на бомбата, която под действието на мощния неутронен поток става силно радиоактивна, и от увлечения от земята радиоактивен прах, пръст, пясък и др. материали[1]. Това огромно количество радиоактивни материали по своето лъчение, еквивалентно на тонове радий, се издига на грамадна височина, разнася се нашироко от вятъра и стратосферните течения и падайки на земята под формата на радиоактивен „дъжд", заразява обширни площи. Големината на радиоактивно заразената зона и степента на заразяването зависят от големината и вида на атомната експлозия и от мястото, където тя е произведена. При атомна експлозия във въздуха радиоактивното заразяване е сравнително слабо. Радиоактивните продукти в този случай се състоят от извънредно дребни частици, които се издигат високо, силно се разпръскват и се утаяват бавно. Докато достигнат земната повърхнина, радиоактивността им се намалява значително и степента на радиоактивното заразяване, което те предизвикват на земната повърхнина, е слабо. При много силни експлозии част от тези продукти могат да се издигнат в най-високите стратосферни слоеве и увлечени от общата атмосферна циркулация, да се пръснат по цялото земно кълбо. Това довежда до временно общо увеличаване на естествения фон на радиоактивното лъчение и дава възможност за откриване на атомни експлозиви върху произволна точка от земното кълбо.

Общо взето, при въздушните атомни експлозии радиоактивността не представлява голяма опасност за хората. В зоната на експлозията

[1] На 500—1000 м от епицентъра на експлозията атомите на натрия, алуминия, магнезия, силиция, мангана и др. под действието на неутроните стават силно радиоактивни.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

може да се влезе около половин час след атомния взрив[1]. Така например след атомните нападения над Нагазаки и Хирошима хората влезли в пострадалите квартали и без специални защитни средства работили в продължение на 5—6 часа в района на епицентъра, без да са получили каквито и да било поражения.

По-силно и по-опасно е радиоактивното заразяване при атомна експлозия на земята, под земната повърхнина или под водата. В този случай във въздуха се изхвърля огромно количество радиоактивно заразена скална и земна маса или вода, която пада сравнително наблизо и създава опасно заразени участъци и обширна, силно заразена зона, чиито размери зависят от силата на експлозията. При експлозии на големи водородни бомби тази зона може да бъде много по-обширна от разрушената и опожарена зона.

Непосредствено след експлозията радиоактивността пада много бързо. Според Р. Леп при подземна експлозия на обикновена 10-килотонова атомна бомба ямата, изкопана от бомбата, може да бъде обходена по края. Един час след експлозията интензитетът на лъчението пада 200 пъти, а след един ден — 10 хиляди пъти.

За радиоактивно заразени се считат такива участъци, в които радиацията надминава 0·1 рентгенчаса. Силно заразени се смятат участъци, в които радиацията е над 5 рентгенчаса, а такива, в които е над 100 рентгенчаса, се считат за опасни.

Заразяване 1 рентгенчас се създава при гъстота на радиоактивното вещество върху земната повърхност 0·01 миликюри на квадратен сантиметър (22 милиона разпадания на квадратен сантиметър за минута), а 100 рентгенчаса — при плътност 10 кюри на един квадратен метър.

Радиоактивните вещества, разпръснати при една атомна експлозия, биват алфа-, бета- и гама-радиоактивни. Като алфа-радиоактивни се явяват различни трансуранови елементи, получени от неразпадналия се ядрен експлозив под действието на неутроните. Отпадъчните продукти, както и всички изкуствени радиоактивни вещества, получени от обвивката на бомбата и от почвата под действието на неутронния поток, са бета- и гама- радиоактивни. Както видяхме, алфа-радиоактивното лъчение е силно йонизиращо, но има слаба проникваща способност. То прониква в живата тъкан едва на 0·05 милиметра дълбочина. Дрехите го поглъщат напълно и могат да служат като защита срещу него. Бета-лъчението прониква на 5—6 милиметра дълбочина в човешкото тяло и при външно облъчване може да порази не само кожата, но и подкожната тъкан. Дрехите не могат да предпазват от него. При външно облъчване най-опасно е гама-лъчението, понеже е силно проникващо и засяга целия организъм. При попадане на алфа- или бета-радиоактивен прах направо върху кожата се появяват рани като при изгаряне. Особено опасно е неговото действие при попадане във вътрешността на организма чрез въздуха при дишане или чрез водата и хра-

[1] Приземният слой на въздуха в района на взрива може да бъде силно заразен с радиоактивни вещества (радиоактивен прах) само в продължение на първите 10—20 минути след взрива.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ната. В този случай биват поразявани жизнено важни органи, като белите дробове, стомахът, червата и т.н. Получават се тежки изгаряния на вътрешните органи с усложнения. Ето защо след атомна експлозия или нападение с бойни радиоактивни вещества не бива да се стои на открито и да се диша радиоактивен прах или да се пие вода и употребява храна, които не са минали през дозиметричен контрол. Опасен е също така и контактът с радиоактивно заразени предмети, защото чрез ръцете радиоактивната зараза може лесно да премине на лицето, очите, устата, носа и пр. и да попадне във вътрешността на организма.

Изкуствено радиоактивните вещества са опасни с продължителността на своето действие. Някои от тях излъчват в продължение на часове, дни, месеци, даже и години и ако интензитетът на лъчението им надминава една пределна стойност, с течение на времето от организма могат да се получат опасни дози. Ето защо продължителният престой в радиоактивно заразена зона или продължителният контакт със заразени предмети, без да са взети някакви защитни средства, е опасен.

9. ОСОБЕНОСТИ НА НАДЗЕМНИЯ, ПОДЗЕМНИЯ И ПОДВОДНИЯ АТОМЕН ВЗРИВ

Направеното дотук описание на атомната експлозия и поразяващите фактори се отнася предимно за въздушната атомна експлозия. До известна степен то важи и за надземната атомна експлозия, с тази поправка, че в този случай формата на огненото кълбо и взривната вълна са полусферични и тяхното поразяващо действие е по-локализирано. В зоната на огненото кълбо и в близката околност разрушението е пълно, но с увеличението на разстоянието поразяващата мощ на взрива пада по-бързо, отколкото при въздушна експлозия. Причина за това е предпазващото действие на постройките и неравностите на терена, намиращи се близо до центъра на експлозията. Те поемат върху себе си най-силния удар на взривната вълна и почти целия светлинен импулс от огненото кълбо, като по този начин засенчват стоящите зад тях обекти.

При надземен атомен взрив радиусът на поразяването и унищожението е с около 10—15% по-малък, отколкото при въздушния взрив, но в замяна на това е по-голяма степента на разрушаването на полевите съоръжения, сградите и др. обекти. Също при надземна атомна експлозия радиоактивното заразяване е по-силно.

При подземна и подводна експлозия значително се изменят както външната картина на взрива, така и съотношението между поразяващите фактори. На първо място светлинното лъчение и проникващата радиация загубват своето значение. Тяхната енергия се изразходва за усилване мощността на взривната вълна и за увеличаване степента на радиоактивното заразяване.

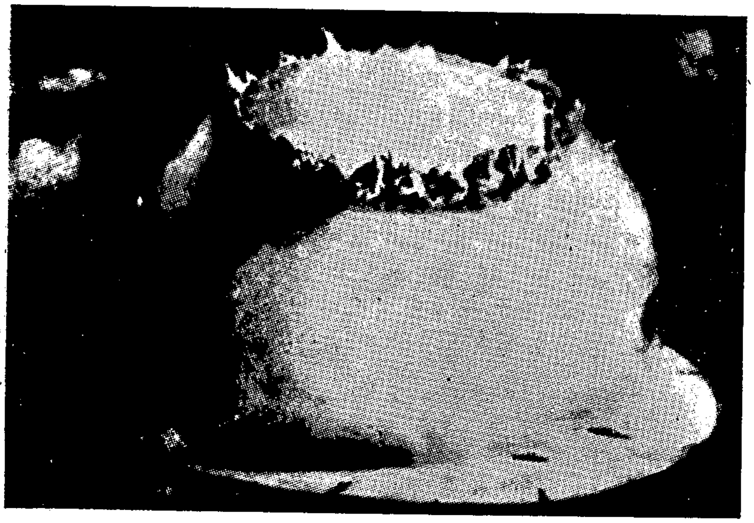
При подземна експлозия се получава мощна з е м н а у д а р н а в ъ л н а, която се възприема като силен земетръсен трус. Изхвърля

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

се грамадно количество земна маса и прах, които станали силно радиоактивни под действието на проникващата радиация, покриват обширна площ с радиус няколко километра и я заразяват силно радиоактивно. Някои автори сравняват подземната атомна експлозия с изригването на вулкан, който покрива околностите с радиоактивни камъни, пръст и пепел и за известно време ги превръща в „зона на смъртта".

Според отчета и изчисленията на английската комисия за изследване ефектите от атомните бомби, хвърлени над Хирошима и Нагазаки, при подземния взрив на една атомна бомба от калибъра на тези, хвърлени над Япония, на дълбочина 16 метра под земята ще се образува кратер с диаметър 260 метра[1] и 30 метра дълбочина. От силния земен трус основите на зданията, разположени в радиус 450—1100 метра, биха се повредили значително, в радиус 650—1650 метра биха претърпели средни



Фиг. 40. Воден купол, възникващ при подводен атомен взрив (в основата на купола се виждат корабите-мишени)

разрушения, а в радиус 900—3500 метра — незначителни. Границите на пораженията зависят от естеството на земния пласт и здравината на основите на сградите. За наши условия по-достоверни биха се оказали по-малките цифри.

Подводният атомен взрив се характеризира със следните особености. В първия момент на повърхността на водата над мястото на взрива се появява светещо петно. На това място водата се издига нагоре под формата на огромен купол с полусферична форма (фиг. 40), който следващия момент се превръща в стълб от водни капки (фиг. 41) с височина 2—3 километра и широчина няколкостотин метра. Над него се появява облак, който бързо нараства и стига няколко километра в диаметър.

[1] Според Р. Леп диаметърът на този кратер ще бъде още по-голям.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Падайки след това надолу, тази водна маса образува така наречените основни (базисни) вълни, които приличат на пръстеновиден облак и се състоят главно от воден прах или капки, издигащи се на височина до 300 метра. Освен това подводният атомен взрив предизвиква грамадни водни вълни с височина няколко десетки метра, които се разпространяват на големи разстояния. Те могат да бъдат опасни за по-малките кораби, за населението и охраната на ниските брегове. И тук обаче главната опасност иде от водната и въздушна ударни вълни и от радиоактивното заразяване на водата.

Фиг. 41. Стълб от водни капки, който възниква при подводен атомен взрив

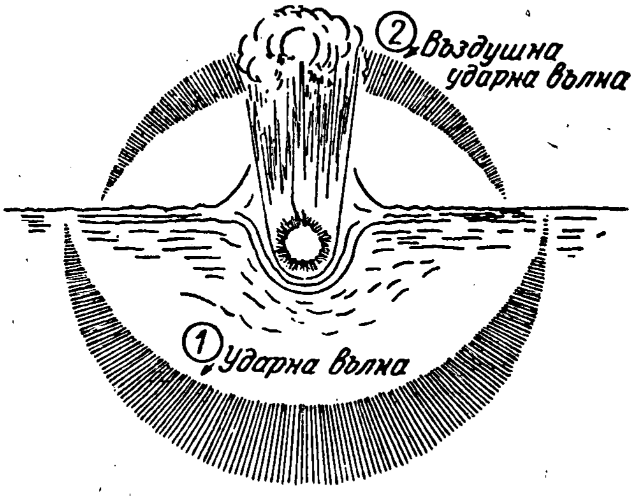
В центъра на подводния атомен взрив в момента на експлозията се образува светещ газов мехур, състоящ се от силно йонизирани и силно прегрети газове, получени от изпарението на продуктите от експлозията, непрореагиралия ядрен експлозив, от изпарената обвивка на бомбата и от разложената и изпарена вода. Налягането в газовия мехур възлиза на няколко милиона атмосфери и е по-високо от хидростатичното налягане на даденото място. Поради това той се разширява във всички посоки, като издига нагоре грамадни маси вода, които отначало образуват огромния воден купол, а малко по-късно, при пукането на газовия мехур, се получава известният ни вече грамаден воден фонтан. Разширяващият се газов мехур създава водна ударна вълна, а след пукането си образува и въздушна ударна вълна (фиг. 42).

Водната ударна вълна се характеризира с по-рязък скок на налягането, което е стотици пъти по-голямо от налягането в зоната на сгъстяването на въздушната ударна вълна. Освен това скоростта на разпространението ѝ е по-голяма от тази на въздушната ударна вълна, а времетраенето на действието ѝ — по-малко. Тези особености на водната

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ударна вълна се определят от свойствата на водата. Тя има много по-малка свиваемост от въздуха и по-голяма плътност. Поради това всяка обемна деформация на водата се предава по-бързо и с по-голям скок, отколкото във въздуха. Колкото по-голяма е дълбочината, на която се произвежда експлозията, толкова по-силна е водната ударна вълна. Ударният характер на водната ударна вълна е по-добре изразен, отколкото на въздушната. Поради всички тези обстоятелства водната ударна вълна нанася силни удари и може да предизвика големи поражения на



Фиг. 42. Ударна вълна при подводен атомен взрив

подводните морски съдове и на потопените части от надводните морски съдове, които в радиус до 700 метра от центъра на експлозията потъват, а до 1000 метра получават тежки повреди. Не малка опасност за корабите представлява и въздушната ударна вълна. Все пак трябва да се изтъкне, че пораженията, които нанасят ударните вълни върху морските съдове, далеч не могат да се сравняват с пораженията, които нанася ударната вълна на една атомна експлозия върху надземни постройки и съоръжения. Така например при опитите на американците с подводни атомни експлозии в Тихия океан през 1952 год. бяха потопени само корабите, които бяха в обсега на водния купол и фонтана или се намираха в непосредствена близост до тях. Всички други останаха над водата. Причината за това може да се търси, от една страна, в голямата здравина и устойчивост на морските съдове и от друга—в тяхната подвижност. Морският съд може да бъде разрушен само при много силен удар, който да го разчупи. Обикновено разтърсване, наклоняване, в някои случаи даже и подмятане, не го поврежда, защото той по начало е пригоден да издържа на такива въздействия.

Подводният атомен взрив предизвиква силно радиоактивно заразяване на водата. Газовият мехур носи голямо количество отпадъчни радиоактивни продукти от взрива. Към тях се добавят и изкуствено ра-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

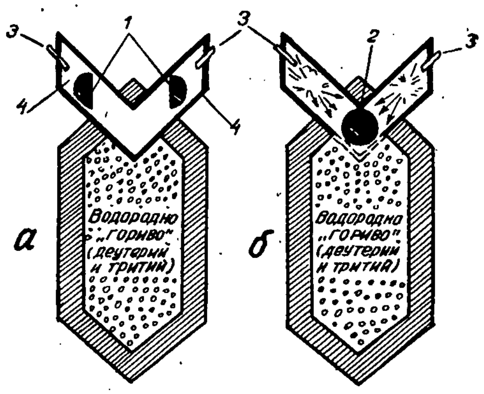
диоактивните вещества, получени от солите в морската вода при облъчването им от неутронния поток. Цялата тази огромна маса от радиоактивни вещества се изхвърля нагоре с водния стълб и падайки надолу, създава силно заразена зона около мястото на експлозията, недостъпна за кораби и хора в продължение на няколко дена. След известно време вълненията и морските течения разнасят радиоактивната зараза на големи разстояния, като едновременно с това се намалява и степента на заразяването.

Радиоактивната зараза, носена от базисните вълни, поразява залетите от тях кораби, като ги прави дълго време неизползуваеми. Дезактивирането на кораби, засегнати от атомния взрив, е много трудно.

Радиоактивното заразяване на морската вода поразява не само хората и морските съдове, но и морската фауна. Рибите, поглъщайки радиоактивно заразена вода, стават радиоактивни и сами могат да бъдат вторичен поразяващ фактор за населението от крайбрежието, което се храни с риба. След опитите на американците с водородната бомба през март 1954 година много от жителите на Токио, Осака и др. японски градове заболели от лъчева болест от радиоактивно заразена риба. Това предизвикало истински ужас всред населението. В подобни случаи, разбира се, по-опасни могат да бъдат последствията от паниката, отколкото от самото радиоактивно заразяване.

10. ВОДОРОДНА БОМБА

Водородната бомба е атомна бомба, заредена с термоядрен експлозив. Следователно тя е вид термоядрено оръжие, предназначено за разрушаване на големи политически и административни центрове и за масово унищожаване на хора. Устройството ѝ е показано на фиг. 43. Водородната бомба се състои от запалка, термоядрен експлозив и здрава стоманена обвивка. Външното ѝ оформление е като това на големите авиобомби. За запалка на водородната бомба служи една обикновена малокалибрена атомна бомба. Като експлозив може да се използува смес от деутерий и тритий или съединението литиев деутерид.



Фиг. 43. Принципна схема на водородната бомба

Експлозията на водородната бомба се извършва по следния начин. Най-напред се „възпламенява" атомната бомба, която служи за запалка. Температурата на термоядрения експлозив се повишава до няколко десетки милиона градуса. В него започва мощна термоядрена реакция, която

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

предизвиква още по-голямо повишение на температурата. Реакцията се засилва бързо, като обхваща мигновено целия термоядрен експлозив. Силата на експлозията се увеличава многократно. Бомбите с тритиево-деутериев експлозив имат това неудобство, че тритият и деутерият трябва да се вземат в течно състояние, за да имат по-малък обем. Това обаче изисква поддържане на много ниска температура и затруднява транспорта. Освен това тритият е много скъп елемент. Той е радиоактивен, с време на полуразпадане 12 години и шест месеца, поради което не може да се съхранява дълго време. Получава се в ядрените реактори по изкуствен начин чрез облъчване на лекия изотоп на литий — литий 6 с неутрони или в циклотроните — чрез облъчване на берилиеви мишени с деутрони. За произвеждането на един килограм тритий се изразходва толкова енергия, колкото за получаването на 80 килограма плутон. Отначало в Америка производството на един фунт[1] деутерий е струвало 2000 долара, а на един фунт тритий — баснословната сума 500 милиона долара! Трябва да отбележим обаче, че за произвеждането на термоядрената реакция е достатъчно да има малко тритий. По-нататък нужният за реакцията тритий се произвежда в самата бомба. Това става така.

При експлозията на атомната бомба (запалката) се създават необходимата температура и налягане на започване на реакцията между трития и деутерия

$$T_1^3 + D_1^2 = He_2^4 + n_0^1.$$

Тази реакция протича много бързо. Отделя се голямо количество енергия. Температурата се покачва толкова много, че започва експлозивно свързване между деутериевите ядра по схемата

$$D_1^2 + D_1^2 = T_1^3 + H_1^1,$$

при което се получава необходимият за по-горната реакция тритий. По този начин двете реакции взаимно се поддържат, докато се изразходва цялото количество тритий и деутерий. Освободената енергия от превръщането на един килограм термоядрен експлозив от този тип е равно на енергията, освободена от около 15 хиляди тона тротил.

Бомбата, която има за термоядрен експлозив литиев деутерид, има редица предимства. Литиевият деутерид при обикновени условия е твърдо, напълно безопасно тяло, което издържа транспорт и продължително съхранение. Не е много скъп и при термоядрена експлозия има по-голяма мощност от тритиево-деутериевата смес. Неудобството му е това, че като термоядрен експлозив по-мъчно се „възпламенява“. Взривяването на термоядрените бомби от този тип става със специални малокалибрени плутониеви бомби-запалки, които развиват много висока температура. Устройството на тези „запалки“ се пази в тайна. По сведения на чуждестранния печат калибърът им е около 3000 тона тротил.

При експлозията на литиевия деутерид стават следните термоядрени реакции:

[1] **Един фунт се равнява на 408·51 грама.**

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

$$Li_3^6 + D_1^2 = 2He_2^4$$
$$Li_3^6 + n_0^1 = He_2^4 + T_1^3$$
$$Li_3^6 + T_1^3 = 2He_2^4 + n_0^1.$$

Неутроните, необходими за започването на втората реакция, се вземат от плутониевата бомба-запалка, а по-нататък се доставят от третата реакция. Обратно, тритият, необходим за третата реакция, се доставя от втората. Двете реакции взаимно се поддържат.

Крайният резултат от всички тези процеси е превръщането на лития и деутерия в хелий, при което на всеки килограм термоядрен експлозив се отделя толкова енергия, колкото от 50 хиляди тона тротил.

Освен тези процеси според изявление на члена на американската комисия по атомната енергия Томас Мърей във водородната бомба се разпада и естествен уран. По всяка вероятност тук става дума за разпадане предимно на изотопа уран 238 под действието на бързите неутрони, които се отделят в голямо количество при термоядрената експлозия.

Термоядрените бомби могат да бъдат много по-силни от атомните, защото могат да се зареждат с по-голямо количество термоядрен експлозив. За разлика от атомния експлозив, който може да се вземе в ограничено количество, и то на късове, с размери под критичните, термоядреният експлозив може да се вземе в произволно количество. Поради това горна граница за мощността и големината на термоядрените бомби няма. Друга причина за по-голямата мощност на термоядрените бомби е по-голямото енергетично съдържание на термоядрения експлозив. Както видяхме, при разпадането на един килограм уран 235 се отделя енергия колкото от 20 хиляди тона тротил, а от един килограм литиев деутерид се получава енергия колкото от 50 хиляди тона тротил, т. е. 2·5 пъти повече.

Калибърът на водородната бомба, изпробвана на 1 март 1954 год. от американците на остров Бикини, се равнявал на 10—14 млн. тона тротил. Силата на експлозията е била около 500—700 пъти по-голяма от тази на бомбата, хвърлена над Хирошима[1]. Смята се, че днес са напълно осъществими термоядрени бомби с 1000 пъти по-голяма сила на експлозията, отколкото атомните бомби, хвърлени над Япония.

Така например при експлозията на водородна бомба, 1000 пъти помощна от бомбата, хвърлена в Хирошима, радиусът на разрушителното ѝ действие ще бъде 10 пъти по-голям. Следователно тя би могла да събори обикновени жилищни сгради, намиращи се на разстояние до 9—10 километра от епицентъра на експлозията, до 15—16 километра ще им нанесе тежки повреди, а до 25—30 км — леки.

Огненото кълбо на една такава експлозия ще има диаметър няколко километра. Всичко, което попадне в тази огнена сфера, ако не е скрито дълбоко под земята, е обречено на пълно изгаряне и унищожение. Освен това една обширна зона с радиус около 20 километра ще бъде

[1] Агенция ТАСС съобщи на 26. XI. 1955 г., че в Съветския съюз преди известно време била произведена най-силната експлозия на водородна бомба от всички извършени дотогава.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

опустошена от пожарите и изгарянията, предизвикани от мощното светлинно и топлинно лъчение на това изкуствено слънце. Прякото наблюдение на огненото кълбо с незащитено око от разстояние, по-малко от 50—60 километра, ще води до временно или постоянно загубване на зрението и възпаление на очите.

Опасната зона на прякото радиоактивно и неутронно лъчение е поограничена от зоната на поразяващото действие на взривната вълна и светлинното лъчение и се покрива от нея. Всяко живо същество, което бъде засегнато от действието на проникващата радиация, и без това ще загине от прякото или косвеното действие на ударната вълна, от пожарите и изгарянията, предизвикани от огненото кълбо. Поради това проникващата радиация на термоядрената експлозия няма особено значение като поразяващ фактор.

Много по-голямо значение добива радиоактивното заразяване. Термоядрените експлозии се съпровождат с получаването на грамадни количества изкуствено радиоактивни вещества. Тези вещества, увлечени от мощното възходящо течение на взрива, се издигат на височина 25—30 километра и под формата на радиоактивен „дъжд" покриват огромни площи.

Количеството на радиоактивния „валеж", както и формата и големината на засегнатата площ, зависи от височината, на която се извършва експлозията, и от силата и посоката на вятъра. Радиоактивният „дъжд" се усилва, когато експлозията се извърши близо до земната повърхност, и е по-слаб при въздушни експлозии.

Радиоактивните продукти се увличат от вятъра и според големината си се утаяват на различни разстояния. Поради това радиоактивната зона има форма на повече или по-малко удължена елипса. Дължината на тази елипса може да стигне няколкостотин километра.

Изпробваната на 1.III. 1954 г. на кораловия о-в Бикини бомба издигнала грамаден облак радиоактивен прах, състоящ се главно от радиоактивен калций под формата на калциев карбонат (варовик), барий 140 и стронций 89 и 90. Заразена била огромна площ във формата на пура. Според съобщения на американския печат 8 часа след експлозията на разстояние 160 км по посока на вятъра падащите частици от този радиоактивен прах напомняли снеговалеж.

Жертва на този „снеговалеж" станаха 23-ма японски рибари, които по време на експлозията се намирали на разстояние 76 мили (около 140 км) североизточно от о-в Бикини.

Друго термоядрено оръжие, което беше широко рекламирано от някои американски и западни вестници, е така наречената кобалтова бомба. Тя не е нищо друго освен водородна бомба с кобалтова обвивка. При експлозията на водородната бомба под действието на освободените неутрони кобалтът от обвивката се превръща в радиокобалт, с който се предполага, че ще могат да се заразят обширни райони. Радиокобалтът е около 320 пъти по-силно радиоактивен от радия. Излъчва силно проникващо гама-лъчение. Разпада се наполовина след 5 години и 3 месеца.

Поради този сравнително дълъг период на полуразпадане за радиоактивно заразяване с кобалт не са нужни силни заразявания. Една

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

местност, която бъде заразена само до няколко рентгенчаса, може да се очаква, че ще остане опасна и необитаема дълго време след нападението. Поради тази причина кобалтовата бомба още не е изпробвана и не се знае до каква степен ще бъде ефикасна.

Атомното и особено термоядреното оръжие е оръжие с голяма поразяваща мощност. Употребата му в една бъдеща война може да доведе до разрушаването на най-големите градове в света — центрове на вековна култура, и до масово избиване на невинни хора. Масовото му използуване може да доведе до много тежки последици за целия свят. Ето защо дълг на цялото човечество е да се бори за неговата пълна забрана и за унищожението на запасите от такова оръжие.

11. БОЙНИ РАДИОАКТИВНИ ВЕЩЕСТВА

Радиоактивните вещества, които се използуват за заразяване на местността, различните обекти и въздуха, за поразяване на хората и затрудняване бойната дейност на войските, се наричат **бойни радиоактивни вещества** (БРВ).

За приготвяне на БРВ могат да се използуват радиоактивните отпадъци на атомната промишленост (продуктите от делението на урана и др. ядрени горива в ядрените реактори) и изкуствените радиоактивни изотопи, които се получават чрез облъчване на различни нерадиоактивни елементи с поток от неутрони.

БРВ в сравнение с бойните отровни вещества имат следните специфични особености:

1. БРВ, които се разпръскват над дадена местност или се образуват в резултат на атомен взрив, за разлика от бойните отровни вещества могат да предизвикват поражения не само при попадане вътре в организма или върху кожата, но и при външно облъчване от разстояние. Те излъчват алфа-, бета- и гама-лъчи. Основното им поразяващо действие се дължи на гама-лъчите, които проникват дълбоко в човешкия организъм и предизвикват лъчева болест даже и тогава, когато не са в непосредствен контакт с организма.

Алфа- и бета-частиците имат малка проникваща способност, поради което тяхното вредно действие при външно облъчване на организма е незначително. Обаче ако попаднат на кожата и слизестите ципи на носа, устата, очите и пр., предизвикват изгаряне, което води до появата на язви и мъчно заздравяващи рани. При попадането им във вътрешността на организма чрез храната, водата и въздуха при дишане те са в състояние да нанесат тежки поражения на вътрешните органи и да предизвикат даже и смърт.

2. БРВ нямат специфичен мирис, цвят и др. признаци, поради което те могат да бъдат открити само с помощта на специални дозиметрични и радиометрични уреди.

3. За разлика от бойните отровни вещества поразяващото действие на БРВ не може да се премахне с никакви химически въздействия. Един-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ственият способ за дезактивация на радиоактивно заразени предмети е механическото им очистване чрез изтриване или измиване.

4. Едно съвършено специфично свойство на БРВ е това, че с течение на времето тяхното действие все повече и повече намалява и след определен срок окончателно изчезва. Това се дължи на свойството на радиоактивните вещества да се разпадат самоволно, с една напълно определена скорост, независеща от никакви външни условия. Това обстоятелство може в някои случаи да бъде използувано като способ за естествена дезактивация на някои радиоактивно заразени предмети и съоръжения, от чието използуване временно можем да се откажем.

Самоволното разпадане на БРВ е пречка за създаване на големи запаси от такива вещества.

5. Друга особеност на БРВ е това, че тяхното поразяващо действие не се проявява веднага, а след известно време (до 10 дни след облъчването). Поради това при опасност от употребата на БРВ се налага постоянно периодично радиационно разузнаване на застрашените райони и обекти.

БРВ не оказват никакво влияние на бойната техника и различните съоръжения, с изключение на някои оптически прибори, чиято оптика при продължително облъчване с γ-лъчи може да потъмнее.

При попадане на БРВ в храната, водата и фуража те могат да станат опасни за употреба.

Опасността за поразяване на хората, които се намират на местност, заразена с БРВ, е толкова по-голяма, колкото са по-големи плътността на заразяването и размерите на заразения участък и колкото по-продължителен е престоят им върху тази местност.

Както беше изтъкнато, плътността на радиоактивното заразяване се изразява с кюри на квадратен метър.

При заразяване на дадена местност с цел за поразяване на хора плътността на заразяването трябва да бъде около 10 кюри на квадратен метър, което съответствува на гама-излъчване 100 рентгена на час.

За опасното заразяване на въздуха, водата и продоволствието са достатъчни много по-малки плътности.

Голяма опасност за хората и животните представлява и контактът с радиоактивно заразени предмети. Полепналият по ръцете радиоактивен прах може лесно да бъде пренесен на очите, устата и носа; а оттам да попадне във вътрешността на организма и да порази вътрешните органи.

БРВ, макар и да са опасни средства за воюване, при съществуващите способи за противоатомна защита не представляват непреодолима пречка за нормалната полева дейност на войските и производствената работа в тила.

12. АТОМНОТО ОРЪЖИЕ И БЪДЕЩАТА ВОЙНА

Дълго време след Първата световна война буржоазните военни теоретици правиха изследвания, за да определят характера на бъдещата война. Предполагаше се, че те ще направят правилни изводи за при-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

чините, които доведоха до разгрома на Германия и нейните съюзници, и правилно ще обяснят редицата свои несполуки в тази първа по рода си война. Най-после след толкова дълги истории и стотиците мемоари на ръководителите на отделните държави очакваше се да се даде правилна насока на политиката и целесъобразно да се развие военното изкуство. Това значеше всестранното развитие на отделните държави да се насочи в съответствие с изискванията на новата война.

Това обаче съвсем не стана. Поради своята класова ограниченост буржоазните теоретици не виждаха бъдещата война в перспектива, а се уповаваха на достигнатото в края на миналата война, като се надяваха, че една бъдеща война ще почне оттам, откъдето е завършила старата. Не се взеха предвид появата и развитието на техническите средства за воюване, промяната във форми и методи на военното изкуство, не се оцени достатъчно съществуването на СССР и не бяха направени съответни изводи от това.

Вместо да се отчетат перспективите за широко маневрения характер на новата световна война, нейната продължителност и масово участие на войски и бойна техника, във Франция например се издигна култ към пасивната отбрана. Започна изграждането на силно укрепени линии и крепости, без да се разбира, че „Мажино" и другите подобни линии не са сигурна гаранция срещу едно нахлуване от Германия.

Това недооценяване характера на бъдещата война стана причина Франция да изостане в производството на танкове и самолети и да възприеме неправилна организация на своята армия.

Заедно с това се появиха различните теории за „мълниеносна" война и създаването на малки, но добре въоръжени и обучени бързоподвижни армии. Въпросът за масовия характер на бъдещата война беше пренебрегнат. Редица военни капацитети, като Дуе, Митчел, Фулер и др., пък виждаха възможността за извоюване на победата само посредством авиацията или танковете и стигнаха до фетишизиране на този или онзи род войска.

Забъркана в различните теории и предположения, буржоазната военна доктрина не можа да даде една стройна теория за характера на бъдещата война, за да определи правилно мястото и ролята на различните родове войски и техника и да посочи какво да се предприеме. Така или иначе обаче тя изигра положителна роля за своята класа, като осигури възможност за разширяването на оръжейните тръстове и извличането на грамадни печалби.

Класовата ограниченост на буржоазните военни теоретици не им даде възможност правилно да оценят значението на моралния фактор, зависимостта между фронта и тила и ролята на народните маси. Основната причина за всичко това е антинаучният характер на тези теории. Под влиянието на управляващите клики издигна се в култ личността на „великите" пълководци, като Хитлер, Мусолини и др., на които се приписваха свръхчовешки качества по божи избор.

Втората световна война завари капиталистическия свят недостатъчно подготвен за война, което беше потвърдено от целия ход на тази война.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Още в 1852 година във връзка с характеристиката на войната Енгелс писа: „Не „свободното творчество на разума“ на гениалните пълководци е действувало тук революционизиращо, а изнамирането на по-добро оръжие и изменението на живия войнишки материал; влиянието на гениалните пълководци в най-добрия случай се ограничава с това, че те приспособяват начина за водене на боя към новото оръжие и новите бойци.“

От различните разсъждения на буржоазните теоретици трябва да се направи изводът, че те не гледаха на войната като на закономерно явление на класовото общество, като продължение на политиката на господствуващата класа с други насилствени средства, а като повеля на този или онзи монарх или държавен глава или най-вече като случайност. За изхода на войната се залагаше на гениалността на пълководците, на чудесата или случайността или пък се надценяваше значението на това или онова оръжие.

На противно становище застана съветската военна наука. Тя изходи от марксическата постановка за познаваемостта на явленията и разработи на научна основа въпроса за характера на бъдещата война. Ясно и определено се изтъкна масовият характер на бъдещите войни, тяхната висока маневреност и ролята на редица постоянно действуващи фактори. Заедно с това се разви на нова основа военното изкуство, даде се вярна оценка на съотношението на различните родове войски и се определи тяхната роля. На несъстоятелните теории за воденето на войната с малки армии, които да провеждат „светкавични“ удари и в къси срокове да печелят войната, съветската военна наука противопостави постановката на Енгелс, че „задачата се състои не в намаляване на армиите и тяхната подвижност, а напротив, в повдигането на едната и на другата на най-висша степен. . . По своята маса и стратегическа подвижност тези армии ще обладават нечувано страшна сила“. И действително във Втората световна война участвуваха над 110 милиона души, от които 13 милиона имаха САЩ, а Германия мобилизира 340 дивизии. Макар масовите армии да не са по вкуса на някои военни теоретици, те са неизбежни в една бъдеща война.

С употребата на атомното оръжие в края на Втората световна война вниманието както на управляващите кръгове в капиталистическите държави, така и на военните специалисти се насочи към това ново средство. Атомната бомба стана основа на политиката на САЩ, а агентите на финансовите магнати проглушиха света с приказки за „безспорното световно господство“ на САЩ. Някои късогледи политици не закъсняха да предскажат края на Съветския съюз.

Защо всъщност бяха употребени атомните бомби над беззащитните японски градове Хирошима и Нагазаки и те ли решиха изхода на Втората световна война? Коя е истинската причина за това варварско изтребление на хиляди невинни деца, жени и мъже?

Формалният отговор на този въпрос бе даден в речта на президента на САЩ — Труман, който на 9 август 1945 г. заяви: „Ние я употребихме (атомната бомба — б.р.), за да съкратим агонията на войната, за да спасим живота на хиляди и хиляди млади американци.“ След края на войната

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

един от членовете на тъй наречения „Междинен комитет" по използуването на атомното оръжие в САЩ — д-р К. Т. Комптън, след като се беше запознал с плановете на ген. Макартър за десант на японските острови, заяви: „Разбрах, че висшите офицери са убедени, че тепърва предстои отчаяна борба. . . Прекарах веднага след победата един месец в Япония, където видях физическото и психическото състояние на страната. . . Убеден съм, че атомните бомби спасиха живота на стотици хиляди, а може би и милиони американци и японци, че без тях войната би продължила още дълги месеци." Според Комптън щабът на Макартър е очаквал да загуби 50,000 души при десантните действия на 1 ноември и много повече в сраженията на японска земя и той завършва: „Ако бомбата не беше употребена, пред нас щяха да лежат дълги месеци на смърт и разрушения от огромен мащаб."

През м. март 1947 година обаче Стимсън, който беше министър на отбраната през 1945 г., публикува една статия, в която излага, че президентът Труман се съвещавал с „Междинният комитет" и се взело решение атомната бомба да се употреби по спешност, без предупреждение, като се избере „военен" обект. Към това време американските управляващи кръгове имаха вече достатъчно данни, че Япония е склонна на една капитулация. Освен това Труман и приближените му специалисти знаеха, че се очаква съветското настъпление срещу Япония. Тук именно вече прозира истинската причина за употребата на атомното оръжие.

В книгата на Елиот Рузвелт „През очите на Рузвелт", издадена през 1945 г., в главата, посветена на Ялтенската конференция (м. февруари 1945 г.), се казва: „Преди да приключи конференцията, Сталин ни увери, както ни бе уверил доброволно за първи път в Техеран през 1943 година, че шест месеца след победата в Европа Съветите ще обявят война на Япония; замисляйки се за момент, той намали срока на три месеца." Тъй като войната в Европа приключи на 8 май, съветската офанзива трябваше да започне на 8 август. Това отнемаше от американците каквото и да е основание да демонстрират своето могъщо оръжие след съветското настъпление. Употребата му ставаше излишна при обявяване на войната от Съветския съюз, защото съдбата на Япония беше ясна. Очевидно САЩ искаха употребата на атомните бомби да предшествува началото на съветското настъпление и затова те бяха пуснати на 6 и 9 август.

Естествено изниква въпросът, защо САЩ не изчакаха резултатите от операцията на Съветската армия в Манчжурия? Защо трябваше да се избият толкова хиляди хора и да се разрушат два цветущи града?

Нима американците нямаха достатъчно данни за предстоящата капитулация на Япония. Те имаха, и то недвусмислени данни. Освен това в „доклад на специалната служба при въздушните сили за стратегически бомбардировачи на САЩ" е казано, че „някои от американските командири и представители на службата, които бяха повикани в началото на 1945 г. в САЩ на съвещание след проучванията им в Германия, заявиха, че Япония може да бъде принудена да капитулира без десант само с блокада и преки въздушни нападения".

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

В противовес на изказванията на д-р Комптън пред „Междинния комитет" в доклада му от 1947 г., озаглавен „Програма за национална сигурност" се казва, че „волята и способността на Япония за борба почти не съществуваха, когато бомбите бяха хвърлени върху Хирошима и Нагазаки. . . Влизането на Съветския съюз във войната направи нейното положение още по-безнадеждно."

Всичко това говори, че пускането на атомната бомба не бе продиктувано от военни съображения, а целеше политически ефект, който да уязви Съветския съюз. Управляващите кръгове в САЩ искаха да отклонят световното внимание от резултатите в Манчжурия и да покажат на Съветския съюз, че приключването на войната и следвоенните въпроси ще се разрешават от позицията на атомното оръжие.

Ползувайки се временно от своето монополно право на атомното оръжие, САЩ преувеличиха значението му и разпалиха страстите за трета световна война и ликвидиране на комунизма.

Без да познават добре условията за употребата на атомното оръжие в една евентуална война, буржоазните военни теоретици побързаха да предскажат, че в епохата на атомното оръжие войните ще бъдат кратки, но разрушителни и който има атомното оръжие, победата е негова. Пак се подцениха другите средства за водене на войната и се преувеличи ролята на новото оръжие. Атомното оръжие може да е могъщо средство, но то все пак не е в състояние да реши всички задачи. Нужни са войски с нови качества, високо морално състояние и съвместно използуване усилията на всички родове войски.

Американските военни специалисти почнаха да изчисляват колко бомби ще са нужни за унищожаването на Съветския съюз и страните с народна демокрация, а някои предсказаха и завършване на войната за няколко месеца.

Във връзка с това като първа мярка се препоръчва силното разрастване на въздушните сили „дори за сметка на сухопътните сили".

В 1948 г. председателят на „Президентската комисия за въздушните сили" Томас Финлетър в доклада си, озаглавен „Оцеляване във века на въздушната мощ", изтъква, че „САЩ трябва преди всичко да засилят извънредно много въздушните си сили". По-нататък той подчертава, че „Съединените щати ще се чувствуват в безопасност само след като изградят мощна нападателна въздушна сила, която да може да унищожи всяка друга държава". Ясно е, че американските военни специалисти не се интересуват от хармоничното развитие на всички родове войски, а виждат в лицето на авиацията единственото средство за „унищожението на всяка друга държава". Очевидно на въздушните сили се поставя непосилна задача.

В подкрепа на тази теория и краткотрайността на войната недавна се изказа и помощник върховният главнокомандуващ на Северноатлантическия пакт маршал Монтгомери, който призовава към формирането на стратегическа авиация, за да се реши войната още в началния ѝ период, като се нанесе съкрушителен удар на противника.

Тук обаче е нужно да припомним факта, че въздушните бомбардировки над Германия през Втората световна война не само не намалиха

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

капацитета на производството ѝ, а напротив, то се увеличи близо 2·4 пъти. Не бяха бомбардировките в размер на 1,300,000 тона бомби, които заставиха Германия да капитулира. Наивно е да се смята сега, че с разрушението на няколко десетки градове и индустриални обекти една голяма страна като Съветския съюз ще се признае за победена от друга страна.

В САЩ са доста загрижени как да намалят жертвите си в една бъдеща война, а това води естествено до идеята за механизираната война с малобройни, отлично обучени войски, разполагащи с извънредно много оръжия и машини. И генерал Брадли заявява: „Очевидно е, че силите, отделени за нахлуване или контранахлуване, ще бъдат сравнително малобройни, обучени до крайния възможен предел и съставени изцяло от професионалисти." Генерал Брадли вероятно смята, че атомните бомби ще му разчистят пътя до такава степен, че ще може да окупира огромните територии с малко сили. Ето защо днешната стратегия на САЩ признава преобладаващото значение на стратегическите бомбардировки.

В един документ на министерството на отбраната на САЩ е отбелязано, че „стратегическите бомбардировки, провеждани било чрез самолети, било чрез насочване ракети от един или друг вид, съставляват най-важния елемент от военните възможности. . .".

След официалното съобщение на Съветския съюз, че атомното оръжие не е монопол само на САЩ, настана истински хаос сред различните военни специалисти по въпроса за ролята на атомното оръжие и една евентуална война. Почнаха се различни разсъждения за мними нападения над американските големи градове, какво ще стане с големите европейски градове, ако бъдат окупирани от Съветската армия и трябва по тях да се удари с атомно оръжие, и пр.

Изникна нов въпрос — въпросът за защита от атомното оръжие. Някои военни теоретици вече почнаха да виждат войната в друга светлина и даже Уолтър Липман в писмото си до президента писа, че „никакви атомни бомбардировки не могат да унищожат Червената армия..."

Особено загрижени останаха управляващите кръгове в Англия и Франция, защото те се оказаха твърде уязвими.

Разглеждайки характера на бъдещата война, един от прогресивните английски учени-физици проф. Блякет пише: „Ако отхвърлим възможността — а след всичко казано по-горе ние трябва непременно да я отхвърлим, — че Съветският съюз ще капитулира след първото нападение с атомни бомби, безспорно такава една война ще се води в Европа по сухо както двете последни войни. Френският генерален щаб ще трябва на всяка цена да получи здрави и сигурни гаранции за военна помощ във вид на точно определен брой американски и английски дивизии в точно определен срок от започването на войната. Ако той не направи това, Франция ще трябва да се бори почти сама, както през 1914 и 1940 г., срещу една много по-силна от нея сухопътна сила. Очевидно подготовката за сухопътна война ще трябва да бъде първата грижа във военните програми на Франция и Англия, ако не на Америка.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

В една такава война Америка ще употреби вероятно своите запаси от атомни бомби от бази във Франция и Англия, като остави европейските войски да водят сраженията по сухо през първите месеци на войната. Ако тази война избухне, след като Съветският съюз се запаси с достатъчно атомни бомби, те ще бъдат вероятно употребени на първо място срещу въздушни бази и военни предприятия във Франция и Англия и само в особени случаи срещу градовете. Във всеки случай ясно е, че в началото по-голямата част от сухопътната война ще трябва да се води от Франция и Англия, които ще бъдат обекти за атомните бомби . . ."

Ясно е следователно от горните разсъждения, че атомните бомби в бъдещата война ще бъдат едно от средствата за нейното водене, без да могат самостоятелно да решат изхода от войната. При това трябва да прибавим, че влиянието на атомното оръжие в страните с планински терен ще бъде по-малко, а в някои случаи ще бъде и нецелесъобразно неговото използване. Ето защо решаващ фактор ще останат пак родовете войски. Наред с това трябва да се има предвид, че атомната бомба не може да се използува наравно с артилерийския снаряд. То е скъпо оръжие, иска специални условия и отделните обекти да отговарят на размерите на поражаемостта. Даже когато преди три години се повдигна въпросът за употреба на атомна бомба в Корея, генерал Брадли заяви, че „в Корея няма цели за атомно оръжие". Може би това схващане да е вече остаряло, но все пак за атомното оръжие ще бъдат отредени важни стратегически и оперативно-тактически цели, с унищожението на които ще се цели да се повлияе на хода на войната или операцията. Войната обаче ще бъде дълга, разрушителна и ще изисква голямо напрежение на всички морални и физически сили на народите.

Оценявайки трезво възможностите на атомното оръжие и способността за защита от него, известният учен и борец за мир Фредерик Жолио-Кюри неотдавна заяви: „Аз подчертавам, че въпреки голямата си разрушителна сила атомната бомба не може да бъде решаващ фактор на войната. . ."

Опирайки се на опита от Великата отечествена война и всепобеждаващото марксистко-ленинско учение, съветската военна наука счита, както заяви пред XX конгрес на КПСС маршал Жуков, че „начините и формите на бъдещата война ще се различават много от всички минали войни. Една бъдеща война, ако бъде започната, ще се характеризира с масово използуване на военно-въздушните сили, на разнообразно ракетно оръжие и различни средства за масово унищожение, такива като атомното, термоядреното, химическото и бактериологическото оръжие. Обаче ние изхождаме от това, продължава по-нататък маршал Жуков, най-новото оръжие, включително и средствата за масово унищожение не намаляват решаващото значение на сухопътните армии, флота и авиацията. Без силни сухопътни войски, без стратегическа с голям район на действие фронтова авиация и съвременен военно-морски флот, без тяхното добре организирано взаимодействие не може да се води успешно съвременната война".

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Обстоятелството, че една евентуална война, от каквато безспорно не са се отказали претендентите за световно господство и разните военни авантюристи, ще бъде крайно опустошителна, ще обхване грамадни територии, ще вземе милиони хора в жертва и ще спъне прогреса на човечеството с десетки години, изисква непрекъсната и напрегната борба за укрепване на мира и безусловната забрана на оръжията за масово унищожение и преди всичко на атомното оръжие.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Противоатомна защита

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

1. ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ

а) Използуване на атомното оръжие

Нарасналото значение на атомното оръжие и възможността то да бъде използувано не само на фронта, но и за удари и в дълбокия тил поставя както войските, така и населението във вътрешността на страната на сериозни изпитания.

Използувайки това оръжие на бойното поле, противникът ще цели да унищожи основната част от живата сила и средствата, които спъват изпълнението на неговите планове в хода на боя и операциите. От друга страна, той ще търси начин да нанесе съсредоточени удари по такива важни обекти и райони, с изваждането от строя на които ще се стреми да предреши в своя полза хода на стратегическите операции и дори войната в определени граници.

Освен това, за да повлияе на духа на населението във вътрешността на страната, да разстрои икономиката, народното стопанство, транспорта и изобщо дълбокия тил на воюващата страна, противникът ще подложи на атомни удари различни обекти и райони из цялата територия на страната.

Изхождайки от способите и начините за използването на атомното оръжие, значението и важността на различните обекти могат да се разделят на:

— обекти от тактическо-оперативен характер;
— обекти от стратегически характер;
— обекти от промишлен и стопански характер.

Към обектите от тактико-оперативен характер можем да отнесем например:

— съсредоточенията на основните сили и средства на частите, съединенията и обединенията;
— съсредоточенията на големи групировки от танкове, артилерия, авиация или моторизирани единици;
— важни отбранителни райони;
— летищата на авиацията;
— основните пунктове на снабдителните бази;
— важни съобщителни съоръжения, чието разрушение трябва да се извърши в кратък срок;

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

— командните пунктове на по-големите единици;

— съсредоточение на морските бойни единици;

— морски бази и съоръжения и др.

Ударите по тези обекти според тяхната важност и размери ще бъдат нанасяни по единично или масирано, и то най-често с бомби, снаряди, торпеда от малък или среден калибър. Трябва да се очаква, че атомните удари ще бъдат комбинирани (според характера на обекта) с химическо и бактериологическо оръжие.

Обектите от стратегически характер имат по-големи размери и към тях можем да причислим:

— големи войскови съсредоточения, наситени с голямо количество бойна техника;

— важни морски бази, където е съсредоточен бойният флот;

— важни административни центрове, снабдителни бази и др.;

— промишлени райони и стопански центрове, от които зависи в голяма степен ходът на промишленото производство и народното стопанство, и др.

За да се постигне стратегически ефект при употребата на атомното оръжие, необходимо е едновременно да се удари по много обекти, така че сумираните резултати да имат решаващо значение било за изхода на дадена стратегическа операция, било за проваляне цялостната народностопанска дейност в дълбокия тил.

Строго разграничение между обектите от стратегически характер и обектите от стопански характер не може да се направи, защото ударите във вътрешността на страната ще имат стратегически характер и ще се нанасят главно по големите административни, технически, промишлени и стопански центрове.

Предвид на това, че обектите от промишлен и стопански характер са пръснати из цялата страна и тяхното едновременно разрушение е трудно, трябва да се очаква, че те ще бъдат подложени на комбинирани удари от авиацията или ракетното оръжие с атомен заряд в различно време.

Понякога атомното оръжие може да бъде използвано и за удари по обекти, които се намират под земята или под водата. Към тези обекти можем да отнесем дълговременните отбранителни съоръжения в укрепените райони и позиции, подводните морски съоръжения, подводните лодки, подземните заводи и др.

Изобщо обектите, които ще бъдат поразявани от атомното оръжие, имат различен характер и местоположение. Като се вземе предвид значителната площ на поражението даже и на малокалибрената атомна бомба, естествено е, че ще бъде нерентабилно обекти, които могат да се поразят с обикновени авиобомби, да бъдат поразявани с атомна бомба. Обектът за удар с атомно оръжие трябва да съответствува на размера на поражението.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

б) Основни мероприятия по противоатомната защита

Появата на атомното оръжие, внедряването му на въоръжение в армиите и опасността от употребата му постави въпроса за противоатомната защита на преден план. Проучванията, които се направиха в това отношение, показаха, че колкото и страшно и опасно оръжие да е то, човекът не е безпомощен срещу него. Многовековният исторически опит на войните свидетелствува, че не е имало такова оръжие, срещу което да няма защита.

Едновременно с появата и употребата на атомното оръжие се направиха редица изследвания и се стигна до заключението, че при използуване на определени средства и спазване на редица правила ефектът от въздействието на атомното оръжие може значително да бъде намален, а хората, животните и техниката—запазени. Тази е основната задача на противоатомната защита.

Противоатомната защита на населението и войските е комплекс от различни мероприятия, които се изпълняват предварително, през и след нападението с цел да се дадат минимум жертви, да се запази боеспособността на войските и да не се допусне влияние на атомното оръжие след неговата употреба.

Всичко това поставя противоатомната защита като ново задължение на всички граждани и личния състав на армията при всяко време и всякакви условия във време на война.

Противоатомната защита включва:

— оповестяване на населението и войските за атомната опасност;

— инженерно оборудване на населените места и позициите на войските;

— радиационно разузнаване и спазване на мерките за предпазването от заразяване с радиоактивни вещества;

— осъществяване на мероприятия по ликвидиране на последствията от атомния взрив.

О п о в е с т я в а н е т о за опасност от атомно нападение на противника се организира с цел да се вземат своевременно мерки за отстраняването на тази опасност и за защита от въздействието на атомното оръжие.

Оповестяването включва предупреждение на гражданите и войските за предстоящата опасност и обявяване на сигнала за атомна тревога.

Както във вътрешността на страната, така и на фронта се организира специална служба за въздушно наблюдение, оповестяване и свръзка, която има назначение да следи за появата на противникови самолети — носители на атомно оръжие, и използувайки специално създадената свързочна мрежа, в къси срокове да извести за атомната опасност.

Самото обявяване на атомната опасност става чрез сигнална мрежа от сирени, камбани и пр., която обхваща всички населени пунктове на страната, по-важните обекти извън населените пунктове, железопътните центрове и др.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Войските на бойното поле също така разполагат със сигнална мрежа, която обявява сигнала за атомната опасност. Обявяването на сигнала може да стане по радиото, по телефона или с други звукови и зрителни средства.

Тъй като ефикасността на използването на атомното оръжие в значителна степен зависи от внезапността на атомното нападение, ясно е от какво голямо значение е въпросът за оповестяването на атомното нападение.

След подаването на сигнала за атомна опасност както населението, така и войските на фронта трябва незабавно да вземат мерки за укриване в създадените скривалища, окопи и пр., ако не искат да бъдат изненадани от атомния удар. Това обстоятелство изисква високо съзнание и голяма дисциплина.

Инженерното оборудване на населените места и местността има за цел да защити населението и войските от поразяването с атомно оръжие и да осигури възможност и условия за продължаване на нормалната бойна дейност на войските и живота на гражданите.

Инженерното оборудване на населените места за противоатомна защита обхваща:

— създаването на достатъчно количество укрития за гражданите;

— подготовка на зданията в противопожарно отношение за защита от въздействието на светлинното излъчване;

— подготовка за предпазване от проникващата радиация и радиоактивните вещества;

— укриване под земята на електрическата, водопроводната, съобщителната мрежа (телефон, телеграф и пр.) и др.

Инженерното оборудване на позициите на бойното поле обхваща:

— създаването на достатъчно количество сигурни укрития за войските, които ще осигурят личния състав и бойната техника от ударната вълна и проникващата радиация;

— създаване на съоръжения за защита от бойните радиоактивни вещества;

— подготвяне на съоръжения в противопожарно отношение за защита от действието на светлинното излъчване;

— подготовка на складовете и различните хранилища за осигуряването им от поразяване с бойни радиоактивни вещества.

При инженерната подготовка на населените места и позициите на фронта трябва да се обърне особено внимание на защитните свойства на местността, които правилно използвани, облекчават в значителна степен всички мероприятия на противоатомната защита.

Обемът на работите по инженерната подготовка е най-голям от всички други мероприятия на противоатомната защита и затова се изисква предварителна подготовка, използването на технически средства, особено на бойното поле, и целесъобразна маскировка на онези пунктове, които могат да послужат като обекти за атомно нападение.

С оглед изясняването на обстановката след употребата на атомното оръжие, както и за обозначаване на заразените участъци от местността с радиоактивни вещества и предупреждение на населението и

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

войските, е необходимо задължително да се организира и води радиационно разузнаване.

Своевременно воденото радиационно разузнаване дава възможност да се вземат необходимите мерки за защита на гражданите и личния състав на армията от поразяване с радиоактивни вещества и ликвидиране на последствията от атомно нападение.

Радиационното разузнаване в населените места се възлага на органите по противохимическата защита, които се снабдяват с необходимите средства, а на бойното поле радиационното разузнаване се възлага на поделенията за химическа защита и специално подготвени разчети и екипажи в частите от всички родове войски, които се снабдяват със специални прибори.

Предвид на това, че радиоактивните вещества нямат външни отличителни белези и могат да се откриват само с наличието на специални прибори, радиационното разузнаване играе особено важна роля и трябва да се води непрекъснато и във всякаква обстановка, особено на бойното поле.

Тъй като в резултат на атомното нападение, както това бе упоменато по-горе, са възможни големи разрушения, повреди на различни съоръжения, възникване на многочислени огнища на пожари, заразяване на големи площи с радиоактивни вещества, а заедно с това и масови поражения на хората, ликвидирането на последствията от атомното нападение е също така много важна дейност.

Към основните мероприятия за ликвидиране на последствията от атомното нападение спадат:

— даване първа помощ на пострадалите от атомното нападение;
— аварийни и спасителни работи;
— гасене на пожарите;
— извършване на санитарна обработка на гражданите и войниците и дезактивиране на жилищата, улиците, обществените здания, продоволствените складове и водоизточниците, бойната техника и отбранителните съоръжения на войските и местността;
— възстановяване движението по улиците на населените пунктове;
— възстановяване на отбранителните съоръжения на войските;
— възстановяване на условията за движението на войските и попълване на унищожените запаси от материални средства.

в) Средства за противоатомна защита

Главното средство за отстраняването на атомната опасност е безспорно борбата на народите за премахване на заплахата от война и забрана за използуването на атомното и други оръжия за масово унищожение на човечеството.

Независимо от това обаче все още опасността от атомното оръжие далеч не е отстранена и това обстоятелство налага да се обърне особено внимание на готовността на населението и войските да бъдат защитени в случай на атомна опасност. Не бива да се оставят нито гражданите,

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

нито войските на фронта без защитни средства, без възможност по сигурен начин да се предпазят от влиянието на атомното оръжие.

Непосредствено след откриването на атомното оръжие науката даде в ръцете на човечеството и защитни средства против него, които умело използувани, могат или напълно да защитят, или да намалят до минимум неговото влияние.

Средствата за противоатомна защита биват два вида: индивидуални и колективни.

Към индивидуалните средства спадат: противогазът, защитното наметало, наметало-постелка, защитни чорапи, защитни ръкавици, защитни костюми и ползуването на редица други средства. Същите тези средства служат и за противохимическата защита.

Противогазът предпазва организма от радиоактивни вещества по дихателен път. Той се слага с обявяването на атомната опасност и се снема след преминаването на тази опасност. Противогазът предпазва лицевата част от действието на светлинното излъчване и от нараняване.

На бойното поле противогазът е особено ценен за войника, който в изпълнение на своите бойни задачи е принуден да минава през райони, заразени с радиоактивни вещества, да извършва санитарна обработка и дезактивация на местността и да действува при употреба на химическо оръжие.

Наметалото-постелка е средство за индивидуална защита главно на войниците. То се използува при действие в заразена местност с радиоактивни вещества, когато трябва да се заляга, да се води огнева дейност и пр. При липса на специално подготвени наметала-постелки могат да се приготвят такива от подръчни средства, като се уплетат пръчки или ръжанка като малки рогозки (фиг. 44).

Защитните чорапи и ръкавици се правят от гумиран плат и се използуват от органите на радиационното разузнаване или войниците, когато трябва да работят с предмети, заразени с радиоактивни вещества, или пък ще преминават през заразени участъци.

Защитният комбинезон (костюм) се използува най-вече от тези органи или войници, които има да работят в райони, заразени с висока концентрация на радиоактивни вещества.

При липса на индивидуални защитни средства могат да се използуват подръчни средства, като: намокрена кърпа за лице или нос, която във вид на тампон се използува за избърсване на откритите части на тялото и премахване на радиоактивните вещества или пък за покриване на лицето и дишане през нея.

При дезактивацията, особено на фронта, могат да бъдат използувани още различни механически средства, като разни четки, лейки, прахосмукачки и пр., посредством които се отстраняват радиоактивните вещества от оръжието и бойната техника.

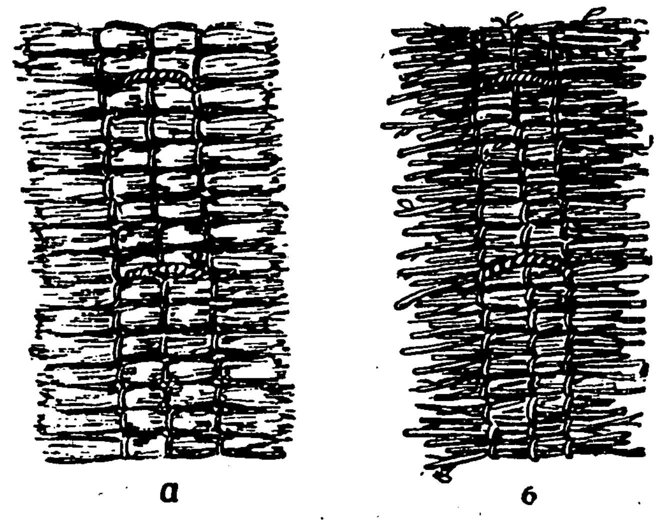
За защита на конския състав и добитъка се използуват специални противогази, защитни очила, наметала и др.

Към колективните предпазни средства спадат обществените скривалища, които се устройват за херметическо затваряне и се снабдя-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ват с филтро-вентилационни комплекти за пречистване на въздуха. В частните домове на солидните здания се устройват колективни укрития, които се използуват от обитателите на съответния дом.



Фиг. 44. Постелка от подръчни средства (ръжанка, пръчки и пр.)

За войниците на фронта се правят отделни укрития, които се използуват за почивка на личния състав при действия при употреба на атомно оръжие или пък за работа на щабовете. Освен това се устройват и специални укрития за техниката и оръжията.

г) Организиране на противоатомната защита

Една от основните предпоставки за успешното организиране на противоатомната защита е нейното планиране.

Във всеки населен пункт административните органи, подпомогнати от Доброволната организация за съдействие на отбраната, трябва да имат създадени планове, в които да са отразени по-конкретно следните мероприятия:

— предупредителна мрежа и начин за експлоатация;

— план на обществените укрития и ред за тяхното използуване;

— организация на противопожарната служба: противопожарни ядра, местонахождение, водоизточници за експлоатация против пожари и пр.;

— аварийно-спасителни команди, местонахождение и инструкции за техните задължения;

— план за устройването на различните видове мрежи: електрическа, водопроводна, топлопроводна, телефонна и др.;

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

— организация на радиационното разузнаване: разпределение на групите за радиационно разузнаване, начин на снабдяване с радиационни прибори и работилници за поправка на приборите и тяхното зареждане;

— план за маскировката;

— план за подготовка на населението за противоатомна защита.

Планът за противоатомната защита на войските на фронта се съставя от съответните командири и обхваща мероприятия по оповестяването на атомната опасност, инженерната подготовка на местността, радиационното разузнаване и ликвидирането на последствията от атомното нападение.

Организирането на предупредителната мрежа се извършва по указание на командуването на противовъздушната отбрана на страната. Тази служба трябва да обхване преди всичко основните обекти, застрашени от удари с атомно оръжие, а освен това по места трябва да има и уредби за предупреждаване на останалото население.

При изготвяне на плановете за построяване и използуване на укритията трябва да се изхожда от големината на обекта, неговото местоположение, броя на населението или работниците, местните условия за противоатомна защита и др. Трябва да се има предвид, че създаването на противоатомни скривалища е отговорен въпрос и към него е необходимо да се подходи своевременно.

Организацията на противопожарната служба е особено важна. Правилно определените нужди от противопожарни органи, средства, водоизточници и подработените планове за влизането им в действие могат да намалят до минимум ефекта от избухналите пожари при атомно нападение. В това отношение е нужно да се мине курс от всички граждани за добиване минимум знания по противопожарно дело.

Организацията на противоатомната защита изисква своевременно проучване условията за инженерното устройване и укриване на всички видове инсталации: осветителни, отоплителни, свързочни и др.

Особено важен раздел от плана за противоатомната защита е подготовката на населението за намаляване загубите и бързо ликвидиране последствията от едно атомно нападение. Това обучение трябва да се води под ръководството на Доброволната организация за съдействие на отбраната и е необходимо да обхване всички слоеве на населението, особено тези в големите градове и важните обекти. Това е не само въпрос на лична заинтересованост на всеки гражданин, но и голям общодържавен въпрос.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

2. ОСОБЕНОСТИ НА ПРОТИВОАТОМНАТА ЗАЩИТА ВЪВ ВЪТРЕШНОСТТА НА СТРАНАТА

а) Общи положения по организацията на противоатомната защита

При наличието на съвременната авиация, която може да излита от далечни бази, да преминава големи разстояния за малко време и внезапно да се явява тук или там, съществува реална опасност за вътрешността на страната от атомно нападение. Ето защо противоатомната защита на населението от вътрешността на страната се явява основно задължение и първа задача на административните власти и цялото население.

Във военно време противоатомната защита на вътрешността на страната се дели на два дяла: активна и пасивна. Активната защита се осъществява от изтребителната авиация на противовъздушната отбрана и зенитната артилерия, а пасивната обхваща:

— предупредителната служба на противовъздушната отбрана;

— предварително устройване на скривалища;

— предварително устройване на електрическата, отоплителната и телефонната мрежа и скриването им под земята;

— подготовка на сградите за борба с пожарите;

— подготовка на всички видове запаси извън населените пунктове;

— подготовка на пунктове за санитарна обработка и дезактивация във и извън населените пунктове;

— подготовка на противопожарната служба;

— създаването на аварийно-спасителни команди;

— маскировка на важните пунктове и др.

Назначението на активната противоатомна защита е да се нанесат удари по изходните бази на противниковата авиация, където са съсредоточени самолетите, носители на атомно оръжие, и самото атомно оръжие. Тази задача се изпълнява от специална авиация по разпореждане на върховното командуване на въоръжените сили.

Изтребителната авиация и зенитната артилерия на противовъздушната отбрана са също средство на върховното командуване и се използуват централизирано.

Изтребителната авиация е мощно средство за борба с противниковите самолети, носители на атомни бомби, която със своята голяма скорост, висока маневреност, голям район на действие и високи бойни качества може по сигурен начин да отблъсне нападението на въздушния противник, да му нанесе големи загуби и да го накара да се откаже от замисленото нападение. Ако не може да изпълни тази решителна задача, тя поне ще е в състояние да разстрои плановете за нападението, да отклони самолетите, носители на атомно оръжие, от избраната цел и да ги накара да го употребят по странични или незначителни обекти.

Освен на въздействието от изтребителната авиация противниковите самолети, които проникват в територията на страната, веднага ще по-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

паднат под действието на зенитната артилерия. Нормално всички важни обекти в територията на страната ще бъдат прикривани с достатъчно количество артилерия. Съвременната зенитна артилерия има много големи бойни възможности. Тя стреля на височини, на които летят самолетите, носители на атомно ръжие, има голяма скорострелност и се управлява автоматично, което ѝ позволява да води успешна борба с въздушния противник. Още в годините на Великата отечествена война зенитната артилерия на Съветската армия нанасяше огромни загуби на авиацията на хитлеристката армия и не ѝ позволяваше да прониква към набелязаните обекти.

В последно време зенитната артилерия разполага със специални локаторни уредби, с които прехваща подхода на противниковите самолети още от далечни подстъпи на разстояние на 250—300 и повече километра. Това дава възможност тя веднага да се насочи към въздушния противник, да проследи неговия път и навреме да влезе в действие. Между зенитната артилерия и изтребителната авиация се установява пълно взаимодействие.

Пасивната противоатомна защита предполага системна и планомерна подготовка още от мирно време.

Предупредителната служба представлява мрежа от предупредителни постове, които се пръскат покрай границата и цялата вътрешност на страната и имат централно командуване. Тази служба разполага със споменатите вече локаторни уредби, посредством които тя задействува активните средства над противовъздушната отбрана и алармира застрашените райони. Оповестяването на самата опасност в населените пунктове и другите области става с установени сигнали и най-вече с вой на сирените, биене на камбана и др.

Както се видя от описанието на действието на атомното оръжие в населени пунктове, единствената възможност да се запази населението както от прякото действие на атомното оръжие, така и от срутванията, пожарите и летящите предмети и парчета са скривалищата. Навреме укрилите се граждани се спасяват и имат след това възможност да се заемат с ликвидиране на последствията от атомното нападение.

Тъй като изработването на скривалищата изисква повече време, сили и средства, по този въпрос административните органи на съответните населени места и пунктове трябва да се замислят още от мирно време.

Съществуват два вида скривалища: обществени и домови.

Обществените скривалища се устройват по план на администрацията на населения пункт. Те се изработват за нуждите на големите обществени и административни организации, които са събрани заедно на големи обекти.

Скривалищата представляват специално устроени помещения на няколко десетки метри под земята и са снабдени с всичко необходимо за запазване живота на ползуващите ги. Те имат филтро-вентилационни комплекти, уредени медицински пунктове, отделна осветителна инсталация, водни резервоари и други приспособления.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Домовите скривалища (укрития) се устройват в отделните железобетонни блокове, като за целта се приспособяват част от избените помещения. За да послужат като скривалища, тези помещения се усилват с допълнително изграждане на стени пред входовете на мазетата и шахтите, зазидват се прозорците, през които може да проникне ударната вълна, и се изработват врати, които плътно да затварят достъпа на ударната вълна към укритията. Всяко укритие по начало трябва да разполага с два изхода, та в случай на затрупване на единия да се ползува другият.

Както обществените скривалища, така и домовите трябва да разполагат с пункт за даване първа медицинска помощ, с малък воден резервоар и осветителна система.

Не само в малките населени пунктове и отделните обекти (заводи, фабрики, ж. п. възли и др.), но и в големите населени места найчесто явление е осветителната мрежа, телефонната мрежа и другите инсталации да са устроени на повърхността на земята, т. е. на открито. Това положение дава възможност в случай на атомно нападение на тези места мрежите да бъдат напълно разстроени и негодни за използуване. Освен това разкъсването на електрическата мрежа може да послужи като вторичен фактор за пожари. Всичко това налага нуждата своевременно основните инсталации в населените пунктове да се скрият под земята по начин, който осигурява тяхното използуване и при употреба на атомно оръжие. Това значи, че както телефонната, така и електрическата мрежа трябва да се вкопаят в земята на една дълбочина от 1·5 до 2 м.

Наред с пораженията, които понасят населените пунктове от действието на атомния взрив, главно на ударната вълна, значителни поражения както на населението, така и на сградите се получават от възникналите пожари. Вече се подчерта, че една от причините за пълното разрушение на японските градове Хирошима и Нагазаки е липсата на добре организирана противопожарна служба. Ето защо организацията за борбата с пожарите е едно от важните задължения на администрациите на населените пунктове.

За да се ограничи действието на избухналите пожари, необходимо е още от мирно време отделните сгради и най-вече по-големите кооперации да се снабдят с необходимия инвентар за борба с пожарите и да се обучат групи във всяка по-голяма сграда за потушаване на огнената стихия. Крайно необходимо е да се вземат своевременни мерки за прочистването на таванските помещения от леснозапалителни материали, каквито обикновено има в изобилие там.

Борбата с пожарите в населените пунктове трябва да се води организирано от специална служба, каквато има във всички по-големи пунктове още от мирно време. Противопожарните ядра се разпределят между отделните квартали на населения пункт, като за тях се създават специални укрития. Отделни противопожарни ядра със съответни противопожарни средства при обявяване на въздушната опасност трябва бързо да се изтеглят извън града. Това се предприема с цел те да послужат като резерв на противопожарната служба, който

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

да се насочи към най-опасните пожари. При нужда трябва да се предвижда привличането на противопожарни средства от съседните населени пунктове. За да се води по-успешно борбата с пожарите, противопожарната служба трябва да разполага с водохранилища извън населените пунктове.

Атомното нападение върху населените пунктове безспорно ще причини значителни жертви на населението. За да може веднага да се даде първа помощ на пострадалите и да се пристъпи към санитарна обработка и дезактивация, във всеки населен пункт на специално устроени места се подготвят санитарни пунктове за даване първа помощ на пострадалите. Освен това извън населените места се подготвят също така пунктове за прибиране на ранените, санитарна обработка и дезактивация. Тези пунктове трябва да разполагат с всички необходими уреди и средства за своевременно извършване на санитарната обработка и дезактивацията.

Разрушението на сградите и другите съоръжения в населените пунктове в значителна степен ще затрудни снабдяването на населението с продукти и вода. Това налага администрацията да създаде подземни складове, където да се съхраняват определени резерви от продукти, а извън населените места да се създадат достатъчно запаси от всичко необходимо за живот на населението и да се планира използуването на водоизточниците извън населените места. Въпреки отдалечението на тези източници на продоволствие преди даването им на гражданите трябва да се подлагат на дозиметричен контрол.

Аварийно-спасителните команди имат задача да осигурят бързото откриване на затрупаните граждани от жилищните постройки, да направят необходимите разчиствания и да евакуират пострадалите. Това са групи от 5 до 10 души, между които има санитарни органи, органи на радиационното разузнаване и разчистващи групи. Те действуват по указания на отбраната на града. Тяхното комплектуване става от своевременно подготвени за целта граждани, които се групират по работни места и при тревога се съсредоточават към обществените скривалища или пък с превозни средства бързо излизат извън населения пункт и след нападението веднага започват работа.

Едно от изпитаните средства за отклонението на атомния удар е маскировката. Тя се създава по предварително изработени планове и цели да създаде лъжлива представа за месторазположението на обекта. Наред с това във военно време, за да се отклони вниманието на въздушния противник, трябва да се пази, особено нощно време, пълна светломаскировъчна дисциплина.

б) Действия на населението при обявяване на атомна опасност и през време на експлозията

Сега при наличието на усъвършенствувани локаторни уредби трудно е населението да бъде изненадано от въздушно нападение. Предупредителната служба нормално ще съумее своевременно да подаде сигнала за надвисналата опасност.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

След даването на сигнала в зависимост от отдалечението на самолетите, носители на атомна бомба, гражданите ще разполагат с известно време (трябва да се знае, че поради голямата скорост, с която се движат самолетите, това време ще бъде не повече от 5—10—15 минути), което трябва да се използува бързо.

Щом чуят сигнала за въздушна опасност, обитателите на жилищните сгради трябва веднага да загасят всички печки и примуси, които горят, да изолират електрическите уреди и бързо да се отправят към скривалищата. Заедно със себе си те трябва да вземат малка аптечка и запас от хранителни продукти, които предварително се приготвят.

Работниците по предприятията и обектите също така трябва да изключат електрическата мрежа, да спрат машините, да загасят горящите печки и бързо да се приберат в скривалищата.

Независимо от това, дали ще последва, или не нападение с атомно оръжие, или само ще последва въздушно нападение с обикновени авиобомби, напускането на скривалищата може да стане след подаването на съответен сигнал на предупредителната служба. Самоволното излизане от скривалищата и нарушаването на разпорежданията на противовъздушната отбрана може да доведат до излишни жертви.

Ако атомният взрив завари някои от гражданите или различните органи на противоатомната защита на открито, те трябва да имат предвид, че до идването на ударната вълна има само няколко секунди, които позволяват все пак човек да използува близкостоящите огради, входове на здания, канавки и пр. Ако липсва каквато и да е друга възможност да се скрие човек в укрития или зад някой местен предмет, той трябва веднага да легне с лице към земята и крака, обърнати към взрива. Така човек представлява по-малка цел за ударната вълна, предпазва откритите си части на лицето и ръцете от изгаряне от светлинното излъчване и ако не бъде поразен от срутване на здания или други летящи парчета, той все пак може да се запази. Освен това не бива да се проявява каквото и да е любопитство за гледане към огненото кълбо, а трябва незабавно да се затворят очите и да се обърне гръб на взрива. След взрива гражданите, които са на открито, трябва да се ориентират бързо за състоянието на обкръжаващите ги здания или други обекти, за да се предпазят от срутванията, пожарите и пр. Такива граждани трябва незабавно да поставят кърпа пред носа и устата, за да дишат през нея, а ако имат възможност, трябва да използуват намокрен тампон (кърпа) за избърсване на праха по лицето, ръцете и шията.

Онези граждани, които са в скривалищата, остават там, докато се установят условията за напускането им. Ако скривалищата не разполагат с противохимически комплекти, при наличие на противогази те трябва да се ползуват до установяване на безопасност. Ако такива няма, гражданите трябва да дишат през намокрени кърпи или специални тампони. Не бива да се забравя, че непосредствено след атомния взрив пиенето на вода, яденето, пушенето може да стане причина за вкарването в организма на радиоактивни вещества и оттам да се предизвика заболяването от лъчева болест. Ползуването на как-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

вито и да е продукти и течности може да става само след съответен дозиметричен контрол.

Първата работа на органите от противоатомната защита е да установят чрез радиационното разузнаване кои райони, улици, градини и паркове са заразени с радиоактивни вещества и в каква степен, да ги обозначат и да уредят контролна служба за преминаване през тях. Непосредствено след атомния взрив влизат в действие аварийно-спасителните команди, които се подпомагат от всички останали граждани за изваждането на затрупаните лица в отделните постройки или други обекти и даването им първа помощ. Наред с това трябва да започне организирана борба с пожарите, защото огнената стихия е допълнителен фактор, който оставен на свобода, ще вземе повече жертви, отколкото самото атомно нападение.

3. СРЕДСТВА И СПОСОБИ ЗА ПРОТИВОАТОМНА ЗАЩИТА НА ВОЙСКИТЕ

а) Особености на поразяващото действие на атомното оръжие на бойното поле

Употребата на атомното оръжие на бойното поле е възможна по всяко време, на всякаква местност и във всички видове бой. Противникът ще търси да употреби своето атомно оръжие, когато съществуват благоприятни моменти за това. Особено уязвими са войските при атомното нападение, когато са на открито, когато преминават през теснини, мостове, когато се товарят на влакове, параходи и пр., или в хода на боя, когато им се наложи да спрат на открит терен.

Всичко това показва, че една от най-важните предпоставки за успешното водене на съвременния бой при употреба на атомно оръжие е организацията и осъществяването на сигурна противоатомна защита на войските по всяко време, където и да се намират те.

Условията, при които се намират войските на бойното поле, и особеността на действието на поразяващите фактори на атомното оръжие на бойното поле върху хората, оръжието, бойната техника, съоръженията и др. изискват да се имат предвид винаги конкретните условия на обстановка и противоатомната защита да се организира в съответствие с тези особености.

Най-характерната черта на взривното действие на атомното оръжие на бойното поле е разпространението на поразяващите фактори на открита местност, по която са разположени войски, техника, съоръжение, продоволствени бази и пр. Както и в населените пунктове, така и тук основният поразяващ фактор е ударната вълна. Тя е, която непосредствено убива войниците, унищожава техниката, разрушава съоръженията, пръска продоволствените припаси и създава затруднения в изпълнение на поставената ѝ бойна задача.

На отдалечение над 1600 м от епицентъра на взрива опасност за войниците, които се намират на открита местност, почти няма. На това разстояние ударната вълна не е в състояние да нанесе поражение. Ней-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ните действия отслабват значително и тя може само да събори войника, който ще изпита силен тласък върху себе си, без да има опасност за живота му. Ако войникът използува някои съоръжения в земята, той може да остане запазен и на по-близки разстояния. Така например в открит окоп войникът, залегнал на дъното му, може да се предпази от ударната вълна на разстояние до 1000 м нагоре. Безопасното разстояние се намалява до 800 м, ако се използуват открити участъци от окопите, чийто насип с пръст не трябва да бъде по-малко от 50 см. При използуването на специално устроени блиндажи хората могат да се намират на разстояние на 500—600 м от епицентъра на взрива без опасност за живота им. Войниците, които се намират дълбоко в земята в солидно устроени укрития, могат да останат напълно невредими, даже и в района на епицентъра на атомния взрив[1].

Всичко това показва от какво голямо значение са инженерните съоръжения за войските и техниката, които трябва задължително да се изработват на бойното поле.

Отбранителните съоръжения, обаче на свой ред изпитват също действието на атомния взрив и могат да бъдат напълно или частично разрушени или само повредени. Така например съоръженията напълно се разрушават при повишено налягане във фронта на ударната вълна повече от 2—3·5 кг/см^2, докато убежищата от тежък тип напълно се разрушават само при налягане повече от 25 кг/см^2. Дълговременните железобетонни съоръжения могат да издържат натиск от 30 до 200 кг/см^2, без да се разрушат.

На откритите отбранителни съоръжения, като окопи, ходове за съобщение, площадки за автоматични машини, оръдия и др., нормално се разрушават брустверите и стените. Това разрушение в значителна степен се намалява, ако се направят облицовки на стените от дъски, плетове от пръти и др. Сравнително чувствителни места на отбранителните съоръжения са входовете, амбразурите и вентилационните устройства. Затова на тяхното укрепяване трябва да се обърне особено внимание.

При инженерното оборудване на позициите трябва да се има предвид, че от атомния взрив ще бъдат засегнати не само отбранителните съоръжения, които се използуват от войските, но и различните заграждения и маскировъчни средства. Така например в противопехотните заграждения (телените мрежи) може да се получи разкъсване на тела, събаряне на коловете, подхвърляне на мрежата и пр. Разрушението на телените заграждения е възможно в район с радиус до 1000 м. Минните полета ще бъдат унищожени тогава, когато налягането на ударната вълна е по-голямо от налягането, на което те са изчислени да издържат.

Под действието на светлинното излъчване някои отбранителни съоръжения и дървените устои на загражденията могат да се запалят, затова е необходимо да се вземат противопожарни мерки.

Поразяващото действие на атомния взрив върху оръжието и бойната техника и другото войсково имущество се проявява във вид на

[1] Данните се отнасят за малокалибрена атомна бомба.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

механически повреди от действието на ударната вълна, изгаряне или овъгляване в резултат на светлинното излъчване и в потъмняване на оптическите прибори под влиянието на проникващата радиация. Степента на пораженията е в тясна зависимост от отдалечението на предметите от епицентъра на експлозията, от калибъра на бомбата, от здравината на обекта и неговото местоположение на терена.

Влиянието на атомния взрив върху пехотното оръжие поради неговата по-малка устойчивост е най-голямо. Оставените на открито пушки, картечници, колесари и пр. на разстояние до 1000 м могат да бъдат напълно унищожени или силно повредени.

Артилерийската материална част е по-устойчива на атомното въздействие и може на значително по-малки разстояния да остане невредима. По-характерни повреди на артилерийската материална част са повредите на мерните прибори, на механизмите за насочване, обгаряне на гумените бандажи на колелетата, потъмняване на мерните прибори и др. Общо взето, при налягане на фронта на ударната вълна повече от 1 кг/см^2 артилерийското въоръжение получава различни повреди.

Най-устойчиви на действието на атомния взрив са танковете и другите бронирани средства. На близки разстояния са възможни откъсвания на куполите от корпуса, обръщане на танковете, разкъсване на веригите, а под действието на светлинното излъчване — и изгаряне на гумените колелета, брезентите, възпламеняване на бензиновите резервоари и пр.

Твърде чувствителни към действието на атомния взрив са моторните коли, свързочните средства, бойните припаси и различните продоволствени имущества.

На разстояние под 1000 м, когато обектът е на открито, възможно е неговото пълно унищожение. Що се касае до радиоуредбите, инсталирани в автомобили и други товарни коли, те могат да пострадат и на по-голямо разстояние.

Радиоапаратите, които имат сравнително фина конструкция, могат да получат повреди даже и на разстояние на 2000 м. Кабелните линии на открито получават разкъсване и затова трябва да се окопават в земята на дълбочина 40—50 см.

Поради особената чувствителност на бойните припаси на разстояние, средно под 1000 м, след атомния взрив те не могат да бъдат използувани.

Бензинът и другите горивни материали се запалват на разстояние до 500 м, а изгарянето на различните видове имущество е възможно и до 2000 м. Освен това както бойната техника, така и различните продоволствени продукти ще бъдат заразени от радиоактивни вещества, поради което преди тяхното използуване трябва да се извърши дезактивация.

Както се вижда, действието на атомния взрив на бойното поле може да нанесе големи поражения на онези войски, които не са взели своевременно мерки за предпазването от атомното въздействие. Когато обаче командирите и войските сериозно подходят към въпроса

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

за защита от атомното оръжие, създават необходимите условия за укриване на живата сила, бойната техника и различните други имущества, тогава действието на атомния взрив може да бъде сведено до минимум и да се запази напълно боеспособността на войските.

б) Основи на противоатомната защита на войските

Противоатомната защита на войските на бойното поле възниква с появата на атомното оръжие. Тя е нов вид бойно осигуряване, което има решаващо значение за запазване боеспособността на войските.

Предвид на обстоятелството, че атомното оръжие може да бъде употребено по всяко време и на всякаква местност, противоатомната защита се организира задължително от всички командири и войници, където и да се намират те и в каквато и обстановка да са.

Подобно на противоатомната защита във вътрешността на страната противоатомната защита на войските на бойното поле представлява редица мероприятия, които, от една страна, целят да не допуснат атомно нападение, а от друга — да осигурят защитата на войските при употреба на атомно оръжие.

Противоатомната защита на бойното поле включва:

— оповестяване на атомната опасност;

— инженерно оборудване на местността в противоатомно отношение и използуване на защитните свойства на местността;

— радиационно разузнаване;

— ликвидиране на последствията от атомно нападение и спазване на мерките за безопасност.

Борбата за отнемането на възможността на противника да употреби атомно оръжие е задължение на главното командуване, което разполага със сигурни средства за воденето на тази борба. Между тези средства най-важното е авиацията. Умело използувана, тя може да нанесе съкрушителни удари по въздушните бази на противника, откъдето е възможно да излетят самолети, носители на атомно оръжие, или да унищожи артилерийските и други средства, с които би могло да се използува атомното оръжие.

Особено ефикасно средство за защита от самолетите, носители на атомно оръжие, е изтребителната авиация. Въз основа на данните, които се дават от локаторните уредби, изтребителната авиация се насочва към противниковите въздушни формации и може или да върне въздушния противник и да го принуди да се откаже от намеренията си, или наймалко да го отклони от онези обекти, които той е набелязал.

Наред с авиацията войските разполагат със зенитна артилерия, която прикрива разположенията на войските и всички важни обекти на фронта.

Оповестяването на атомна опасност се възлага на специална служба за въздушно наблюдение, оповестяване и свръзка, която разполага със своя мрежа от постове, пръснати в различните войскови единици. Сигналните постове се разполагат при пунктовете за управление на командирите, откъдето централно се предупреждават войските. Веднъж

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

даден сигналът от старшия командир, той се предава незабавно с всички разполагаеми средства за връзка с цел войските да могат своевременно да вземат мерки за укриване от атомната опасност. Сигналите за атомната опасност трябва да се знаят добре от всички войници и командири. Инженерното оборудване на позициите е едно от най-важните и сериозни мероприятия на противоатомната защита. То изисква големи сили и средства, време и упорита работа, но се явява единственото средство да се предпазят войските, бойната техника и продоволствието от атомното въздействие, да се повиши тяхната устойчивост при отбрана и да се осигури решителността на техните настъпателни действия.

Бойните действия се водят на местността. При употреба на атомно оръжие нейното правилно използуване, използуването на нейните защитни свойства може в значителна степен да намали ефекта от атомното въздействие, а това значи да запази боеспособността на войските. Това обстоятелство изисква и налага особено внимание от командирите при разполагането на войските и организирането на противоатомната защита.

Опасността войските да попаднат в райони, заразени с радиоактивни вещества, съществува не само при атомен взрив, но и при всякаква друга обстановка. Противникът има възможност да хвърли радиоактивните вещества от въздуха чрез своята артилерия и по друг начин, внезапно и неочаквано, с цел да скове бойната дейност на нашите войски. Ето защо радиационното разузнаване трябва да се води непрекъснато, да обхваща цялата територия, в която действуват войските, и своевременно да ги предупреждава за грозящата ги опасност. От друга страна, радиационното разузнаване трябва своевременно да определя данните за заразяването на местността и да посочва пътищата, по които може да се избягнат заразените райони.

Ликвидирането на последствията от атомното нападение на противника е крайно важно мероприятие. То се организира с цел бързо да се възстанови нарушената бойна готовност на войските и да се създадат условия за успешно изпълнение на поставените задачи.

По-важните мероприятия, които обхващат ликвидирането на последствията от атомното нападения, са:

— аварийните и спасителни работи;
— гасенето на избухналите пожари;
— евакуация на пострадалите;
— извършване на санитарна обработка;
— извършване на ветеринарна обработка на добитъка;
— дезактивация на оръжието и бойната техника;
— възстановяване на отбранителните съоръжения и тяхната дезактивация;
— възстановяване на съобщителната мрежа и дезактивация на заразените участъци;
— привеждане в ред продоволствието и попълване на запасите.

Всички тези мероприятия трябва да се извършват в бойна обстановка, срочно и по начин, който няма да възпрепятствува изпълнението на бойните задачи. От това произлизат съществените различия по лик-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

видирането на последствията от атомното нападение между съответните дейности в населените пунктове и на бойното поле.

Приведените дотук данни показват, че противоатомната защита на войските обхваща техния цялостен живот и бойна дейност и затова организацията и нейното осъществяване трябва да се познават в подробности.

в) Устройване на отбранителните съоръжения и използуване защитните свойства на местността

Не само при заплаха от атомна опасност, но и при обикновени условия позициите, които се заемат от войските, се изграждат с мрежа от траншеи, ходове за съобщение, съоръжения за огневите средства, укрития, наблюдателни и командни пунктове, пътища и други съоръжения, които имат за цел да създадат по-голяма устойчивост на войските. При употреба на атомно оръжие инженерното оборудване на местността и позициите, както се видя по-горе, е основно средство за защита от поразяващите фактори от атомната бомба. Правилно устроени и съобразени с изискванията за противоатомната защита, те могат да запазят личния състав, бойната техника и продоволствието при употреба на атомно оръжие. За да могат да изпълнят своето предназначение, те трябва да бъдат устроени навреме, солидно и да бъдат маскирани. Това положение изисква правилна организация на работата, повече материали и технически средства и голямо напрежение от войските.

Основа на инженерното оборудване на местността за противоатомна защита на войските представляват траншеите и ходовете за съобщение с широко развита система от укрития.

Онези от войниците, които при атомния взрив залегнат в дъното на траншеята, няма да бъдат засегнати от натиска на ударната вълна, от светлинното излъчване или от проникващата радиация. Тъй като основната маса от войниците постоянно се намира в траншейната система, ясно е, че тази система трябва да бъде най-добре изградена. Разполагането на войските в траншейна система намалява безопасното разстояние, на което те могат да се приближат до епицентъра на експлозията. Това разстояние се намалява средно 1·5—2 пъти, отколкото при разполагането им на открита местност, а поражаемата площ на атомното оръжие се ограничава 2—4 пъти.

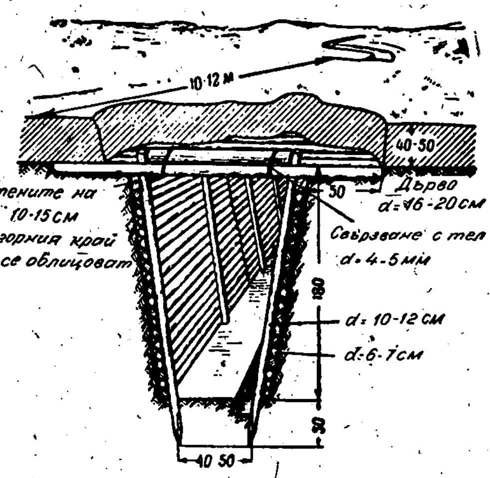
Защитните свойства на траншеите и ходовете за съобщение могат значително да се повишат, ако се постигне необходимото усъвършенствуване в тяхното устройство. Това усъвършенствуване изисква дълбочината на изкопа да достигне поне до 1·5 м, а там, където се създават ниши, блиндажи и укрития — до 1·8 м. Освен това на отделни места трябва да се създават покрити участъци в продължение на 10—15 м. Покритията се устройват от греди или дебели пръти, плътно наредени едни до други над насипа и затрупани с пръст поне половин метър (фиг. 45).

Зимно време над траншеите е целесъобразно да се устройва сводест насип от сняг или лед.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

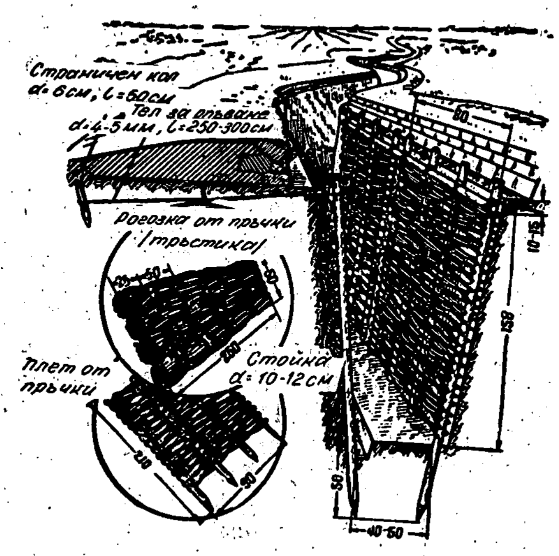
За да се намали силата на налягането на ударната вълна, ъглите на чупките на траншеите и ходовете за съобщение трябва да се правят заоблени.



Фиг. 45. Общ вид на покрит участък на траншея

Траншеите и ходовете за съобщение в слабите и средни почви, за да издържат по-голям натиск на ударната вълна, по-добре е да имат облицовани стени. Облицовката се прави както на откритите, така и на покритите участъци от траншеите. За облицовка се използуват дъски, плет от пръти, рогозка от пръчки и др. (фиг. 46). За да не може да се запалва под влиянието на светлинното излъчване, облицовката трябва да се замазва с глина или пръст. За да се ограничи разпространението на евентуално възникнал пожар, на всеки 40—50 м е необходимо да се оставят противопожарни зони с ширина от 1 до 2 м.

При по-нататъшното устройване на траншеите и ходовете за съобщение се устройват подбрустверни блиндажи, ниши и площадки за оръжията, които се облицоват. Входовете за блиндажите и нишите трябва да се закриват с дебели врати от дъски, които плътно да прилепват към рамата на вратата. Дебелината на земления пласт над покритието на блиндажа трябва да бъде 80—100 см, за да предпази по сигурен начин от проникващата радиация.



Фиг. 46. Общ вид на облицована траншея

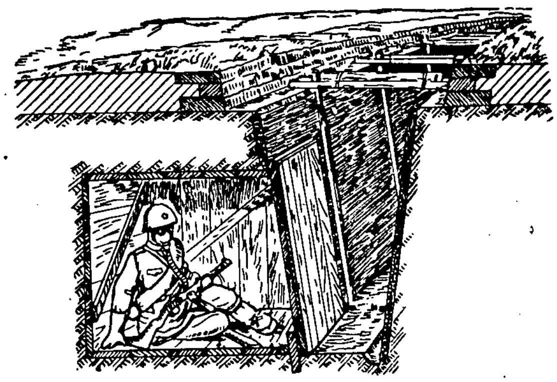
Когато се използуват блиндажи и подбруст-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

верни ниши за укриването на личния състав, тогава безопасното разстояние се намалява до три пъти в сравнение с откритата местност, но войниците и в този случай трябва да бъдат с противогази (фиг. 47).

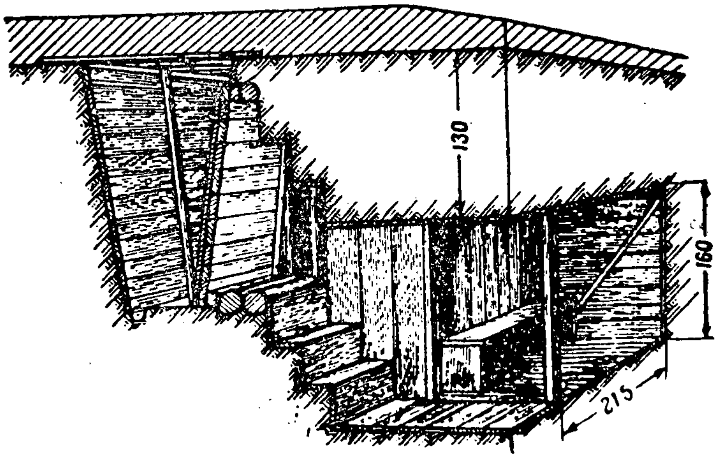
Още по-добра защита могат да осигурят укритията. Дебелината на пръстта над покрива на укритието не трябва да бъде по-малка от 1·30 м (фиг. 48). Освен това укритията трябва да се снабдяват с филтро-вентилационни инсталации, за да могат да се използуват без противогази. Входът на укритията трябва да има не по-малко от две преддверия, затваряни херметически с врати или завеси.



Фиг. 47. **Подбрустверен блиндаж**

При достатъчно време могат да се устроят и укрития от най-тежък тип, които позволяват един напълно нормален живот под земята.

Тъй като най-чувствителното място на укритията са входовете, необходимо е да се правят запасни изходи, през които може да се излиза без



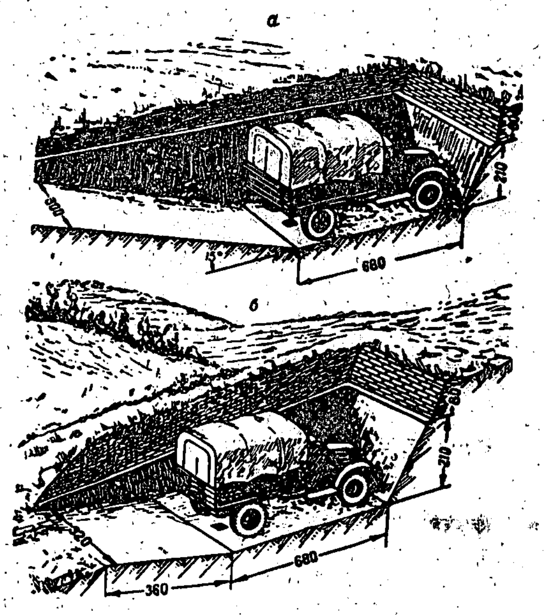
Фиг. 48. **Общ вид на противоатомно укритие**

странична помощ, ако стане затрупване на основния вход. Целесъобразно е запасните изходи да се устройват във вид на шахти с подсилени стени. Шахтите се покриват с дървени капаци.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

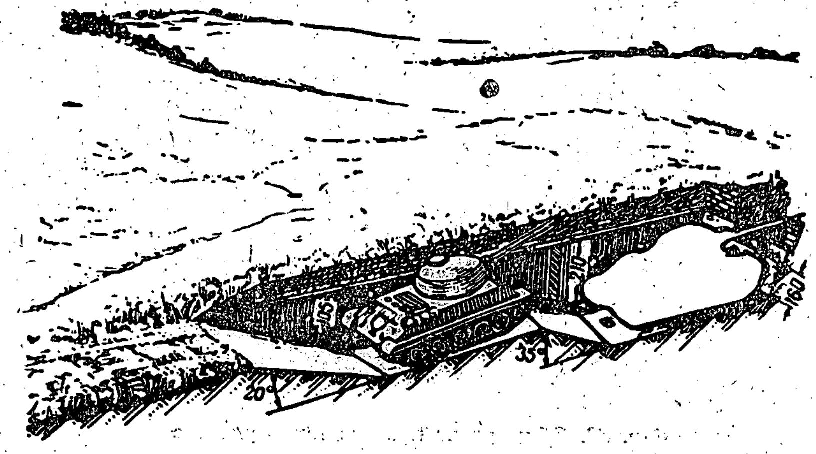
Освен за хората укрития са необходими за оръжието и бойната техника. Укритията за такава материална част като танкове, влекачи, автомашини и пр. могат да бъдат направени във вид на открити окопи с апарел за влизане и излизане или пък да се създадат специално устроени укрития.



Фиг. 49. Противоатомно укритие за товарна кола

Общата дълбочина на укритието за даден вид оръжие или техника трябва да бъде такава, че да надхвърля височината на самото оръжие. Нещо повече, необходимо е да се осигури поне 50 см превишение на насипа, за да не може ударната вълна да окаже пряко въздействие върху оръжието. Наклонът на апарела към укритието трябва да бъде 1:4 до 1:6, като за основа се вземе височината на насипа (фиг. 49, 50).

Трябва да се обърне особено внимание за укриването на съдовете с горивосмазочни материали. Насипът над тях не трябва да бъде помалко от 20 см от височи-



Фиг. 50. Противоатомно укритие за танк

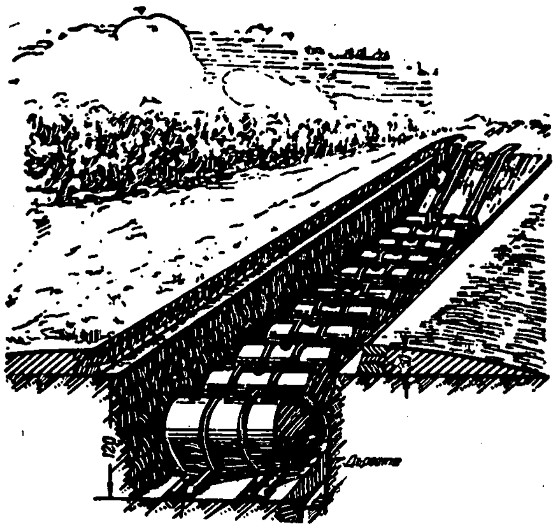
ната на резервоарите (варелите), за да се предпази складът сигурно от действието на светлинното излъчване (фиг. 51). Може да се устрой-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

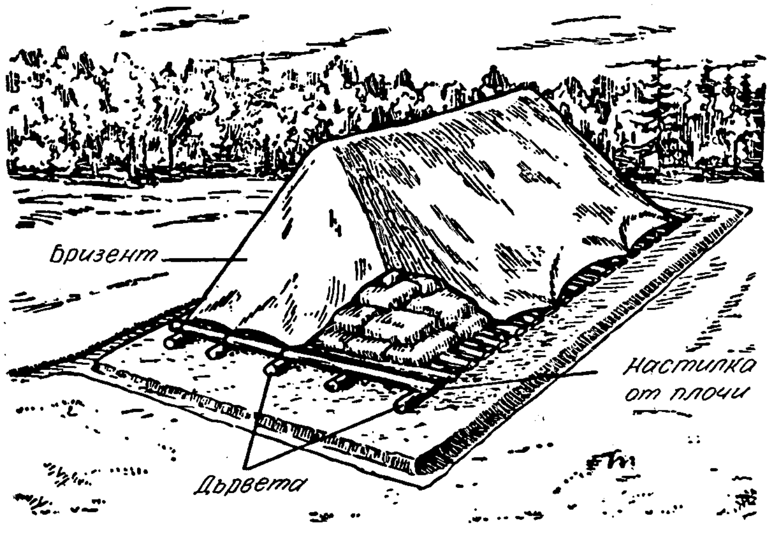
ват и складове в земята с дълбочина на изкопа 1 м, като варелите се засипват с пръст 10—15 см и по този начин се отстранява действието на светлинното излъчване. По-големите съдове за гориво трябва да се заравят в земята така, че над тях да има поне 1—1·5 м пръст.

Продоволствието и фуражът в полевите складове се препоръчва да се съхраняват в окопи с дълбочина 1·5 м при облицовани стени и настилка по дъното. Складираните продукти трябва да се закриват с брезенти (фиг. 52). При високи подпочвени води трябва да се осигуряват площадки за сухо пазене на продоволствието.



Фиг. 51. Противоатомно укритие за горивни материали

За укриване на конския състав се правят укрития от изкопен тип с дълбочина 2 м, като съответно се правят коневръзи, които да не позволяват пръскането на конете след атомния взрив и заразяването им с бойни радиоактивни вещества.



Фиг. 52. Опазване на продоволствие (фураж)

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

При употреба на атомно оръжие голямо значение придобива маскировката на важните обекти. Правилно и навреме устроената маскировка може да отклони вниманието на противника от истинските обекти и да създаде невярно впечатление за групиране на силите и средствата на собствените войски.

Маскировката се прави с щатни и подръчни средства едновременно с изработването на изкопните работи и другите съоръжения.

При правилно използуване местността може твърде много да ограничи действието на атомния взрив. На война успехите на бойните действия на войските в значителна степен зависят от умелото използуване на местността. Когато правилно се отчетат нейните особености, увеличава се активността на войските и се облекчава маневрирането, което в съвременни условия има голямо значение. Наред с това при известни условия различните теренни форми на местността и отделните местни предмети могат да послужат като укрития от поразяващото действие и на атомното оръжие. Така например пресечената местност, гористите масиви, отделните местни предмети могат в голяма степен да ограничат действието на ударната вълна, светлинното излъчване и проникващата радиация и ако правилно са използувани, да предпазят войника от действието на атомното оръжие. Ето защо умелото използуване на защитните свойства на местността е основно задължение за всички командири и войници.

Най-голямо внимание върху поразяващите действия на атомния взрив оказват релефът на местността, горите, растителността, населените пунктове и някои местни предмети. Тяхното влияние е различно по отношение различните фактори на атомния взрив.

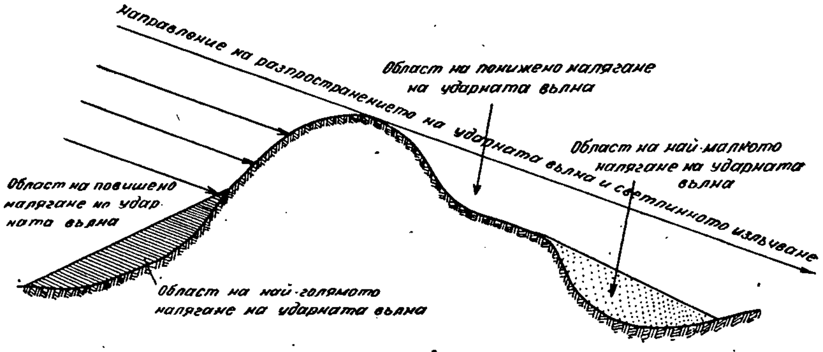
Релефът притежава защитно свойство, когато е пресечен. Равнините и средно пресечените местности не могат да прикрият войските и не притежават никакви защитни свойства особено при въздушен взрив от атомна бомба. Пресечената местност обаче значително намалява радиуса и площта на поразяването. Възвишенията, които се изпречват на пътя на разпространението на поразяващите фактори на атомното оръжие, унищожават тяхното действие или го намаляват до минимум. Те, както се казва, засенчват определена част от местността, която остава незасегната от атомния взрив.

Защитните свойства на възвишенията зависят от тяхната височина, форма и размери, а така също и от мястото на експлозията. Налягането на ударната вълна върху предните скатове на възвишенията с наклон над 10° значително се повишава. Благодарение на сложното взаимодействие между падащата и отразена вълна налягането в подножието на масивите може да бъде 2—8 пъти по-голямо от налягането, което се получава в равнинна местност. Това значи, че ако при равнинна местност на разстояние 1500 м от епицентъра на една малокалибрена атомна бомба налягането е 0·16 кг/см^2, което лесно се понася от човека, то в подножието на планината или хълма това налягане достига от 0·32 до 1·28 кг/см^2 и може да причини дори смърт. Колкото по-стръмен е скатът, толкова по-голямо е въздействието на ударната вълна. И обратно, колкото по-стръмни и високи са обратните скатове на хребетите, толкова по-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

слабо е въздействието на ударната вълна. Особено добре са защитени отделните гънки (фиг. 53). Ето защо разполагането на войските и техниката на скатовете, които са обърнати към страната, от която се очаква атомният удар, не е целесъобразно и трябва да се избягва.



Фиг. 53. **Схема за влиянието на пресечената местност върху ударната вълна**

При разполагането на обратните скатове обаче трябва да се има предвид, че плътността на заразяването на местността с радиоактивни вещества е по-голяма и те особено се напластяват в различните гънки. Най-безопасни в това отношение са топографските гребени.

Налягането на ударната вълна и радиусът на поражаемата зона са по-големи, отколкото в равнинна местност, в лъсчините и оврази, оста на които преминава през епицентъра на взрива (фиг. 54). Дългите и прави оврази и речни корита, по които надлъжно се разпространява ударната вълна, усилват нейното действие и увеличават радиуса на поражаемостта 1·5—2 пъти в сравнение с откритата местност. Най-добро предпазване от въздействието на ударната вълна дават напречните или криво очертаните оврази и затова те трябва да бъдат най-вече използувани.

Теренните форми, разположени перпендикулярно на разпространението на ударната вълна, намаляват силно нейното действие. Ако при разполагането на войските на местността могат приблизително да се определят местата на вероятните атомни удари, могат да се намерят такива участъци, където войските ще бъдат запазени. Трябва обаче да се има предвид, че местност с възвишение до 100 м при наклон на скатовете до 10° по защитните си свойства се приближава до равнинната местност.

Силно пресечената местност с превишения между отделните височини до 250 м и наклон на скатовете над 10° намалява поражаемата площ два пъти в сравнение с равнинната местност.

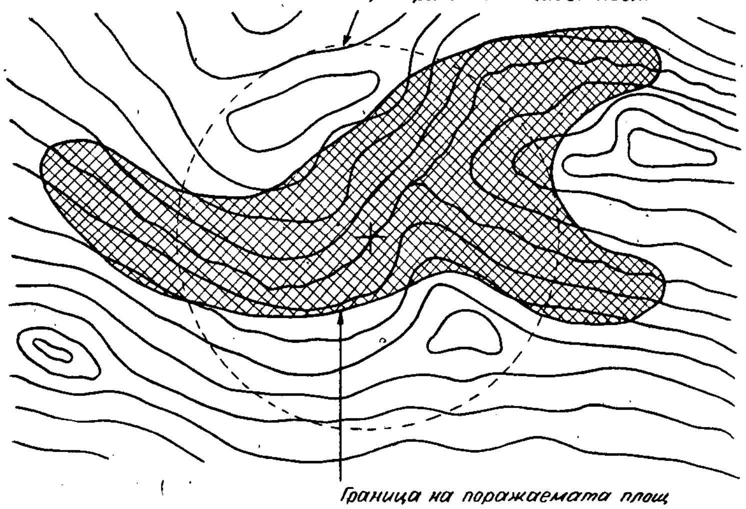
Средно пресечената местност с гъста мрежа от оврази и дерета, широки до 200 м и дълбоки до 15 м, предлага най-добри условия за защита от атомното оръжие.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Ниско планинският, средно пресечен релеф с превишения във височините от 250 до 700 м намалява действието на атомното оръжие 2—3 пъти в сравнение с равнинната местност.

Изобщо планинската местност дава благоприятни условия за защита на войските от атомно оръжие. Така например, ако в равнината средното разстояние, което изключва едновременното поразяване на два елемента от бойния ред при взрив от малокалибрена атомна бомба, е около 4 км, за средно пресечена местност то е 3—4 км, а за ниско планинска местност е 2—3 км.



Фиг. 54. **Форма на поражаемата площ на атомния взрив при пресечена местност (долина с оврази)**

Теренните форми в засенчените участъци по сигурен начин предпазват от влиянието на светлинното излъчване, тъй като светлинният лъч преминава над хората и техниката, намиращи се в дадена сянка, и по този начин не може да окаже никакво влияние. На близките разстояния обаче под действието на високата температура са възможни пожари и запалвания на различни местни предмети.

Проникващата радиация също така е ограничена в своето действие и на обратните скатове. Там тя е особено намалена или никак не съществува. Причината за това е, че тя се поглъща от местните предмети и скатовете на терена, поради което процентът на поражаемостта в планинска местност спада средно от 20 до 30%.

Използването на защитните свойства на местността далеч не означава елиминирането на укрепителните работи и инженерното оборудване

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

на местността. То обаче има особено голяма важност, когато войските са на открита местност.

Защитните свойства на местността се изучават по съществуващите карти, чрез аерофотоснимки, допълнително разузнаване и други данни.

Добра защита дават гористите участъци даже и в равнинна местност. В гориста местност с гъста растителност радиусът на поразяването на живата сила под действието на ударната вълна се намалява 1·5—2 пъти в зависимост от вида на дърветата, тяхната гъстота, дебелина и височина. Естествено е, че колкото по-гъста е гората и по-сплетени са короните на дърветата, толкова сянката, която тя хвърля, ще бъде по-голяма и по-плътна и по-добре ще предпазва от влиянието на светлинното излъчване.

Трябва да се има предвид, че в гъста гора атомният взрив може да предизвика непрекъснато поваляне на дърветата на разстояние 500—800 м. При по-висок въздушен взрив това разстояние се намалява, тъй като стеблата на дърветата са много устойчиви на вертикално налягане.

Гористата местност поради това, че представлява сериозна пречка за действието на проникващата радиация, намалява нейното влияние с 10—15%.

Широките просеки, дълбоките и тесни сечища, горските поляни, пътища и пътеки, направлението на които съвпада с направлението на разпространението на ударната вълна, способствуват за усилване на нейното поразяващо действие и са опасни за разполагане на войските.

Както се вижда, гората дава редица предимства за защита от влиянието на атомното оръжие, но заедно с това тя крие известни опасности. При ясно време иглолистните гори при взрив на малокалибрена атомна бомба се запалват на разстояние 1200 м, а широколистните до 1000 м. При облачно време, дъжд и сняг тези разстояния се намаляват, а при мъгла те не надминават 600 м за иглолистните гори и 500 м за широколистните. По отношение на пожарите по-голяма опасност представляват иглолистните гори, тъй като огънят обхваща не само короните и техните стебла, но се предава лесно и на окапалите листа и пръчки под дърветата. Тогава се образува непрекъснат горски пожар, борбата с който е много трудна, и войските в такъв случай са сериозно застрашени. Разпространението на пожара се движи със скорост 0·5 км в час. Всичко това налага да се избягват иглолистните гори за разполагане на войски. При необходимост трябва да се създават заградителни противопожарни пояси и добре да се изчистват пътищата, поляните и районът, в които са разположени самите войски, от сухите листа и пръчките.

Горите предпазват войските до голяма степен и от радиоактивните вещества. Значителна част от тях се задържат от короните на дърветата и не могат да достигнат до почвата. Така например гъстите гори могат да задържат 80% от радиоактивните вещества. Освен това въздухът в гористите райони е чист, почти няма прах, който има свойството да поглъща радиоактивните вещества. Това обстоятелство дава възможност на войските да престояват по-дълго време в гористите райони.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Ниската храстовидна растителност не може да защити войските от действието на атомния взрив. При движение през тревисти райони увеличава се опасността от заразяване на тялото, техниката и оръжието с радиоактивни вещества, а освен това се вдига прах при разбутването на клоните и тревата, който войниците вдишват и по такъв начин вкарват вътре в организма радиоактивни вещества.

За да може да се използуват горите като защита от противоатомното оръжие, командирите и щабовете трябва да разполагат с достатъчно предварителни данни, които да поясняват характера и вида на гората, височината и дебелината на дърветата, размерите и направленията на горските поляни, пътища и пътеки и състоянието на храстовидната растителност.

Степента на радиоактивното заразяване на даден район от местността в значителна степен зависи от състава на почвата. Има почви, които са наситени с различни химически елементи, които усилват заразяването, а има и други, които противодействуват на него. Към първите се отнасят почвите, наситени с натрий, калий, манган, хлор, силиций и др., които под влиянието на потока неутрони стават радиоактивни, т. е. възниква изкуствена радиация на местността. При такова положение войските, които се намират при такива местности, попадат под радиоактивното излъчване на тази местност и могат да заболеят. За да се избягнат такива райони, органите на радиационното разузнаване трябва своевременно да установят състава на почвата и да дадат данни на командуването. Това значи, че солените почви трябва да се избягват, а най-безопасни за разполагането на войските са черноземните, глинестите или пясъчно-глинестите почви.

Най-малко условия за образуване на прах, който поглъща радиоактивните частици, дава тревистата почва. Твърдата почва поради трудното обработване затруднява дезактивацията.

Мокрите почви способствуват за по-дълбоко проникване на радиацията в земята, отколкото сухите. Също така снеговалежът способствува за бързо падане на радиоактивните вещества от облака, образувал се след атомния взрив, поради което радиоактивното заразяване на местността в близост на епицентъра на взрива се увеличава.

Изобщо местността е важен фактор при организирането на противоатомната защита и умелото използуване на нейните защитни свойства може в значителна степен да намали ефекта от атомния взрив. Това изисква щателно изучаване на този въпрос и правилното му използуване във време на боя.

г) **Радиационно разузнаване**

Радиационното разузнаване като нов вид бойно осигуряване на войските има задача да установи своевременно наличието на заразени участъци от полесражението с радиоактивни вещества, да определи степента на заразяването, да маркира границите на заразените райони, да посочи пътищата за обхождането или да направи проходи за преминаване на войските.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Тъй като използването на радиоактивни вещества от противника може да става във всяко време и във всякаква обстановка, организацията и воденето на радиационното разузнаване е задължително мероприятие за всички командири през всяко време на боя, където и да се намират те.

Задачите на радиационното разузнаване се изпълняват от специално обучени химически поделения, разполагащи със съответни уреди и прибори. Там, където няма химически поделения, се подготвят специални групи, които се занимават с тези въпроси. Органите на радиационното разузнаване се пръскат по целия район, в който действуват войските, и се включват в специалните разузнавателни и охранителни елементи. Средствата и приборите, които се използват от органите на радиационното разузнаване, са разгледаните вече рентгенометри, радиометри, дозиметри и др.

Органите на радиационното разузнаване изпълняват своите задачи от наблюдателните пунктове на командирите или пък чрез обхождането на районите, където са разположени войските.

На наблюдателните пунктове органите на радиационното разузнаване периодично и извънредно включват дозиметричния прибор и правят изследване на местността в радиус не по-малко от 600 м. Когато избухне атомна бомба, органите на радиационното разузнаване непрекъснато следят движението на облака, който се е образувал след взрива.

Когато над разположението на собствените войски минат противникови самолети или пък районът бъде обстрелян с артилерия и минохвъргачки и по него е извършено димопускане или се забележи падането на прах и дъжд след атомен взрив, макар и далеч от собствените войски, дозиметричният пост прави веднага своите изследвания, които се записват в дневник.

При откриване на данни за радиоактивно заразяване на местността веднага се прави доклад на командира и се обявява установеният сигнал за атомна опасност.

Съществуват и тъй наречените дозиметрични дозори, които са подвижни органи на радиационното разузнаване. Те се изпращат в района за действие на войските или по отделни направления със задача да установят заразен ли е, или не даден район, да обозначат границите на заразяването, а при атомен взрив да установят радиационната обстановка в района на взрива. По състав дозорът не надминава 3—5 души.

При радиационното разузнаване на пътища дозорите нормално ползуват автомобили, като през всеки 150—200 м включват дозиметричните прибори и следят за техните показания.

При откриване на заразени участъци дозорът спира, облича защитните средства и започва работа. Първата дейност е да се обозначи предната граница на района, заразен с радиоактивни вещества. При степен на радиация 0·1 рентген в час предупредителните знаци се поставят от двете страни на пътя, така че ясно да се виждат. След това измерването на заразяването продължава през всеки 100—150 м. Приборът се държи на височина 1 м от земята. Когато дозорът открие степен на радиация 5 рентгена в час, той спира и обозначава границите на силно заразения

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

участък. Щом дозорът попадне в участък, заразен повече от 100 рентгена в час, той напуска пътя и го обхожда, като пак обозначава със знаци. За всяка данна по радиационната обстановка командирът на дозора донася на старшия командир.

При движение в заразен участък автомобилът, който се ползува от дозора, също се заразява чрез вдигането на прах, поради което, за да се определи истинската степен на заразяване на дадения участък от пътя, измерването трябва да стане на 10—15 м от автомобила. Там, откъдето започва опасната зона на заразяване, се поставят нови обозначителни знаци.

При разузнаване на местност, в която се предполага, че има заразени участъци, автомобилът преминава по няколко направления, обозначава заразените райони, очертава ги на картата и набелязва проходите, по които може да се мине, или обходните пътища, които следва да се използуват.

Когато дозорът получи задача да изследва даден район, заст от войски, най-напред вниманието му се насочва към онези участъци, където са разположени главните сили и средства, и след това се прехвърля и по останалите райони. Ако местността не позволява превозването на превозно средство, разузнаването се извършва пеша.

Когато дозиметричният дозор стигне до някой пункт, където степента на радиацията е 0·1 рентген в час, той тръгва по периферията на този участък, като го обозначава със знаци. Обозначаването границите на района става едновременно вляво и вдясно и се преминава към тилната граница. След това се прави обхождане на района по определени посоки нормално през 200—300 м, като се обозначава степента на радиацията.

Радиационното разузнаване на големи райони от местността, на подълги участъци от пътищата и на горите може да се извърши от самолет, който се снабдява с чувствителни уреди — дозиметри. В този случай самолетът лети на височина не повече от 400 м.

Наред с откриването и обозначаването на заразените участъци на местността радиационното разузнаване има задача също така да установи заразяването с радиоактивни вещества на водата, продоволствието, фуража, оръжието и да извърши дозиметричен контрол за облъчването на хората и животните.

Дозиметричният контрол се разделя на контрол на радиоактивното излъчване и контрол на радиоактивното заразяване.

Войските, които попадат под действието на радиоактивните вещества или навлязат в участъци, заразени с такива вещества, трябва да бъдат обязателно проверени за степента на облъчването. Контролът на това облъчване се разделя на индивидуален и групов. Индивидуалният контрол цели да установи облъчването на отделните хора, а груповият — най-силното облъчване на войските. За целта дозиметристите обхождат района, в който са разположени или действуват войските, определят чрез дозиметрите различната степен на радиация на различните групи войски и докладват за това на командира.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Контролът за радиоактивното заразяване на личния състав, животните, оръжието, техниката, имуществото и продоволствието се извършва след изпълнението на бойната задача или след излизането на войските от заразените участъци, а също така и след извършване на частична или пълна дезактивация и санитарна обработка.

За контрола на радиоактивното заразяване на войските след излизането им от заразения район се поставят дозиметрични постове, през които те се пропускат. Дозиметристите, които обслужват тези постове, задължително проверяват целия личен състав, въоръжението, техниката и имуществото. Ако при контрол се установи, че заразеността превишава определените норми, тогава се пристъпва към санитарна обработка и дезактивация.

Дозиметричният контрол след извършването на пълната санитарна и ветеринарна обработка и дезактивация се извършва от дозиметристи, действуващи на специално устроени площадки на пунктовете за дезактивация.

Дозиметричният контрол има много голямо значение за войските, тъй като само чрез него може да се установи степента на заразяването с радиоактивни вещества и навреме да се вземат мерки за даване на помощ. Чрез него може да се установи за колко време може да се отложи санитарната обработка и дезактивацията, което е от значение за бойните възможности на войските.

Дозиметричният контрол може да изпълни своето назначение, ако се води непрекъснато, обхваща всички хора, тяхната техника и въоръжение и навреме осветлява командира за опасността, която грози войските.

Както се вижда, радиационното разузнаване с право е определено като едно от основните мероприятия на противоатомната защита. За да може да функционира правилно, трябва да се познават редица технически въпроси, използването на различните уреди и прибори, а заедно с това да се вземат мерки за безопасност на самите органи на радиационното разузнаване.

4. ЛИКВИДИРАНЕ НА ПОСЛЕДСТВИЯТА ОТ АТОМНО НАПАДЕНИЕ

а) Общи положения

Ликвидирането на последствията от атомно нападение на бойното поле има особено голяма важност. Неговото правилно организиране и своевременно провеждане намалява твърде много резултатите от атомното въздействие и дава възможност на войските да възстановят своята бойна дейност. Когато то се подценява, загубите се увеличават, намалява се боеспособността на войските и се създават условия, които облекчават действията на противника. Всичко това изисква пълно и подробно познаване особеностите на ликвидирането на последствията от атомно

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

нападение при бойна обстановка и твърдо и неотклонно провеждане на необходимите мероприятия.

Най-отговорната задача на дейността по ликвидирането на последствията от атомното нападение е санитарната обработка на хората, дезактивацията на оръжието и бойната техника, на продоволствието и другите предмети, както и ветеринарната обработка на животните. Наред с това, както и в населените места се извършват спасителни работи, гасене на пожари, даване първа помощ, възстановяване на отбранителните съоръжения и др.

Санитарната обработка на личния състав представлява отделяне на радиоактивните вещества от кожата, слизестите части на очите, носа и устата на войниците и прекратяване на въздействието им върху живия организъм.

Отделянето на радиоактивните вещества от оръжието, бойната техника, имуществото, отбранителните съоръжения, местността, водата, продоволствието и фуража се нарича дезактивация.

Отделянето на радиоактивните вещества от тялото на добитъка и прекратяването на тяхното вредно действие се нарича ветеринарна обработка.

Както санитарната и ветеринарна обработка, така и дезактивацията се извършва само когато степента на заразяването надвишава допустимите норми. Дейността по обработката и дезактивацията не трябва да пречи на бойната дейност на войските.

В зависимост от условията на бойната обстановка санитарната и ветеринарна обработка и дезактивацията се извършват частично и в пълен обем.

При частичната санитарна обработка радиоактивните вещества се отделят от откритите части на тялото на войника, а при частична дезактивация от онези места на заразените обекти, до които личният състав има непосредствен контакт.

Санитарната обработка има предимство пред дезактивацията и след дезактивацията се прави повторна санитарна обработка.

Пълната санитарна и ветеринарна обработка и пълната дезактивация се извършват по правило след изпълнението на бойната задача или в период на сигурно затишие, и то в незаразени райони. Както обработката, така и дезактивацията изискват специални условия и повече време.

При пълна санитарна обработка окончателно се отделят от тялото на човека и животното радиоактивните вещества, а при пълната-дезактивация заразените обекти окончателно се прочистват от праха, който е заразен с радиоактивни вещества. При пълната дезактивация се разрешава частично разглобяване на оръжието и бойната техника за отделяне на радиоактивните вещества от труднодостъпни места.

Санитарната и ветеринарна обработка и дезактивацията се предшестват от дозиметричен контрол за установяване степента на заразяването.

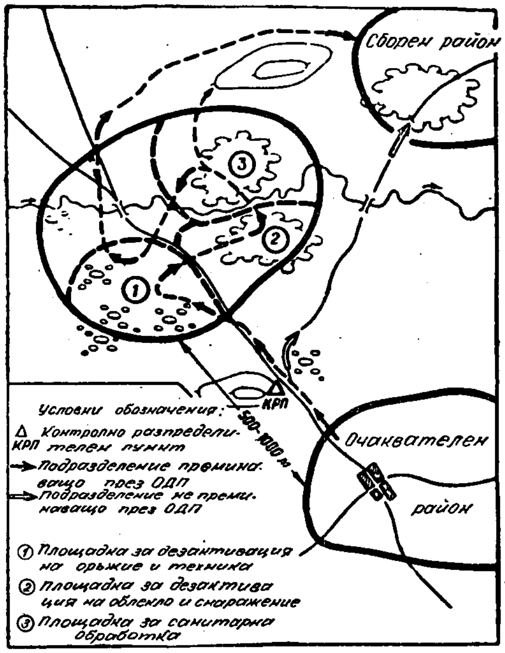
Местата, където се извършва пълната обработка и дезактивация, е прието да се наричат умивачно-дезактивационни пунктове и се откриват на удобни места в тила на войските, близо до водни източници и пътища.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

На умивачно-дезактивационния пункт се правят площадки за санитарна обработка, площадка за ветеринарна обработка, площадка за дезактивацията на оръжието и техниката и площадка за дезактивация на облеклото и снаряжението, както е показано на фиг. 55.

Войските, които са заразени с радиоактивни вещества, се съсредоточават в очаквателен район, който отстои на половин-един километър от умивачно - дезактивационния пункт. Оттам според нуждите те се разпределят към различните площадки. На очаквателния район може да се извърши частична санитарна обработка и дезактивация.



Фиг. 55. **Принципно устройство на умивачно-дезактивационния пункт**

Преди да отидат на умивачно - дезактивационния пункт, поделенията преминават през контролно-разпределителен пункт, където се подлагат на дозиметричен контрол. Ако степента на заразяването превишава допустимите норми, поделението, без да чака ред, се изпраща в умивачно-дезактивационния пункт. То отива там заедно с оръжието и бойната техника, като влиза в замърсената половина на площадката за дезактивация на оръжието и техниката. Там войниците оставят числящите им се оръжия и техника и се отправят към площадките за санитарна обработка. Най-напред те отиват на площадката за дезактивация на облеклото и снаряжението, където дезактивацията се извършва от специални команди.

Ако заразяването превишава десет пъти определената доза на заразяване, най-напред се започва със санитарната обработка на самите войници, а след това се извършва дезактивация на облеклото и оръжието.

След санитарната обработка и дезактивацията се извършва нов дозиметричен контрол, след което войските се отправят към определените им сборни райони и оттам получават нови задачи.

б) Санитарна обработка

Санитарната обработка е най-отговорното и важно мероприятие при ликвидирането на последствията от атомното нападение.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Тя има голямо значение, защото нейното успешно извършване възстановява боеспособността на войските. При съществуващите съвременни средства за санитарна обработка заразените войници могат сигурно да бъдат предпазени от действието на радиоактивните вещества.

При заразяването на войниците с малки дози радиоактивни вещества санитарната обработка може да бъде временно отложена, тъй като не съществува опасност за живота на войниците. Ако степента на заразяването е опасна, трябва незабавно да се пристъпи към частична, а след това към пълна санитарна обработка.

Частичната санитарна обработка се извършва непосредствено на бойното поле и се състои в измиване с незаразена вода откритите части на тялото на войника (лице, ръце, и шия) и в изплакване на устата. Ако войникът не разполага с незаразена вода, тогава отделянето на радиоактивните вещества от откритите части на тялото става с тампон или обикновена кърпа, които се намокрят с вода от манерката.

Ако частичната обработка се извършва в заразен район, не се разрешава да се снемат индивидуалните защитни средства.

Частичната санитарна обработка се извършва преди и след дезактивацията на оръжието, бойната техника и местността. Преди започването на дезактивацията войникът е длъжен да провери степента на своето заразяване, ако за това съществуват възможности.

След частичната дезактивация на тялото войникът извършва дезактивация на личното си оръжие и техниката, с които работи, и то само по онези места, с които има непосредствена работа. Дезактивацията на оръжието и техниката трябва да става с поставяне на защитни средства.

Очистването на откритите части на тялото от радиоактивни вещества при частичната дезактивация трябва да става внимателно, като се спазват следните правила:

— най-напред войникът снема от себе си защитното наметало, изтърсва облеклото си от праха, като застава с лице по направлението на вятъра, и след това снема защитните чорапи;

— снемат се противогазът и защитните ръкавици и се пристъпва към измиване на откритите части на тялото;

— частите на тялото се измиват два-три пъти с чиста вода;

— когато измиването се прави без достатъчно вода, откритите части на тялото се изтриват с влажен тампон или кърпа в една и съща посока, като тампонът се върти откъм чистата страна;

— обръща се особено внимание при изчистването на носа, ушите и изплакването на устата; ушите се изчистват с намокрен памук или намокрен край на кърпа.

При липса на достатъчно вода и тампони може да се използува течност от индивидуалния противохимически пакет. Зимно време за изтриване може да се ползува чист сняг.

Когато войникът е наранен, най-напред се дава първа помощ и след това се пристъпва към частична санитарна обработка.

През време на обработката не трябва да се яде, пуши и пие.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

За извършване на пълна санитарна обработка се прибягва до умивачно-дезактивационния пункт.

Пълната санитарна обработка при топло време може да се извърши на открито, под навес или в палатка, а зимно време в затоплени помещения или палатки.

По-подробно умивачно-дезактивационният пункт има следните отделения: за събличане, за измиване и за обличане.

Фиг. 56. Пълна санитарна обработка под душове

В отделението за събличане войниците свалят облеклото си, преминават през дозиметричен контрол и им се указва степента на радиацията и на кои части от тялото трябва да се обърне особено внимание. Зимно време, преди да влязат в отделението (палатката за събличане), войниците са длъжни да изтърсят от себе си снега, защото ако влязат с него в стаята (землянката), той се стопява и заедно с водата в помещението попадат радиоактивни вещества и дезактивацията е много по-трудна.

Отделението за измиване трябва да разполага с душове полски тип или отделни камери за измиване. По начало измиването трябва да става с топла вода и сапун, с гъба или кесия за баня или други предмети за изтриване. Измиването се извършва отгоре надолу, от главата към краката, като се обръща внимание на най-малката гънка на тялото и особено на ръцете и краката. За по-удобно измиването на войниците трябва да се извършва по двойки, за да може взаимно да се обслужват. За един войник средно са необходими 10 мин. под душа, а с други средства (ползуване на гумен маркуч и други съдове за обливане) — 15—20 мин. (фиг. 56).

Лятно време, ако има река или други водни басейни с текуща вода, измиването може да стане там, като местата за къпане предварително се определят и обозначат от санитарната служба и химическите органи (фиг. 57).

След изкъпването всеки войник отново се подлага на дозиметричен контрол и тогава се изпраща към площадката за обличане. На тази площадка войниците получават своите дрехи, ако са дезактивирани, или пък ново облекло от запасните комплекти. При нужда трябва най-напред да се окаже медицинска помощ и тогава да се пристъпи към обработка.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Онези групи войници, които са санитарно обработени, се изпращат в сборните райони.

Зимно време пълната санитарна обработка е много по-трудна, свързана е с отоплянето на землянките и палатките, където се работи, иска грижи по очистването на снега, не могат да се използуват реките и естествените водни резервоари, водата замръзва, спъва се работата и по-трудно се работи със защитните средства.

Фиг. 57. Санитарна обработка във водохранилище

Санитарната обработка на ранените и болните се прави нормално в медицинските пунктове, където има по-добри условия за работа и по-малко хора.

Необходимостта войниците да отиват час по-скоро в строя изисква санитарната обработка на хората да се извършва непрекъснато, бързо и ефикасно. Не бива да се допускат хора, които са минали през пунктовете за санитарна обработка, без да са проверени от дозиметричния контрол. В това отношение командирите трябва да проявяват особена взискателност.

в) Дезактивация

Дезактивацията е също така важна дейност, която се извършва паралелно със санитарната обработка. Чрез нея се отстранява опасността войниците да попаднат под влиянието на радиоактивните вещества при използуването на оръжието, бойната техника, местността, продоволствието и др.

Основният начин за извършването на дезактивацията е механическото отделяне на радиоактивните вещества от повърхността на заразените предмети или обекти. Отстраняването на радиоактивните вещества по химичен начин почти не дава резултати.

Механическото отделяне на радиоактивните вещества от заразените повърхности налага да се познава техниката на този процес, за да може то да стане бързо, а заедно с това да се спазват и мерките за безопасност на хората, които извършват дезактивация.

Дезактивация на оръжието и бойната техника. Дезактивацията на оръжието и бойната техника може да се извърши непосредствено в заразен район или след неговото напускане.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Частичната дезактивация на оръжието обикновено се извършва на огневите позиции без разглобяване, като най-вече се прочистват онези места, които непрекъснато се пипат от войниците при работа с оръжието. Дезактивацията се извършва чрез измиване, изчеткване или избърсване на праха, калта и капките вода, които са по повърхността. За целта се използуват парцали, кълчища, слама и др., потопени във вода, а при нужда и в бензин, газ или нафта. Дезактивацията се извършва, като личният състав не снема защитните средства. При избърсването трябва да се внимава движението на парцалите, кълчищата и пр. да става само в една посока, като често се сменят.

Пълната дезактивация се извършва нормално в незаразен район и както санитарната обработка изисква повече време и необходимите условия. При нея се използуват следните способи:

— измиване на оръжието със силна струя вода под налягане, след което измитите части се изтъркват с парцали, кълчища, сено и др.;

— измиване чрез използуването на водни разтвори, които съдържат изпиращи състави. Освен това използуват се бензин, газ, нафта, дихлоретан, спирт и др. Зимно време се използуват специални незамръзващи състави. При ползуването на разтворители трябва да се има предвид, че някои от тях разяждат повърхността на оръжието и затова след употребата им оръжието трябва добре да се подсушава;

— използуване на четки, метли и парцали, потопени във вода;

— използуване на компресорни прахосмукачки със сгъстен въздух.

Когато заразяването е станало освен с бойни радиоактивни вещества още и с химически отровни вещества, тогава най-напред се прави дегазация, а след това се извършва и дезактивация.

При дезактивацията може да се използуват специални дезактивационни машини, различни помпи, цистерни и пр.

Пълната дезактивация се извършва на устроените площадки в умивачно-дезактивационните пунктове. На тях има места за дезактивация на стрелковото оръжие, оръдията, танковете, автомобилите, свързочната техника, инженерното имущество и др. На чиста площадка се поставят приспособления за смазване и сглобяване на оръжието. При подреждането на оръжието и техниката за дезактивация на личния състав се дава инструкция за начина на извършване на дезактивацията и се назначава контролиращ орган от химици-дезактиватори. На личния състав, който извършва дезактивацията, се дават защитни средства (противогази, ръкавици, комбинезони и пр.).

След окончателната дезактивация на оръжието и техниката се извършва дозиметричен контрол.

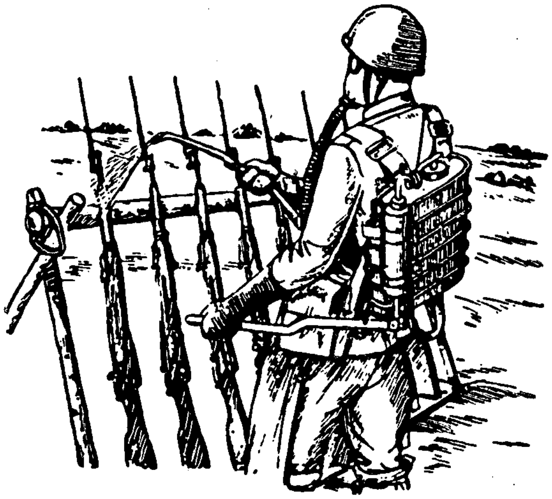
При пълната дезактивация на стрелковото оръжие се извършва пълна разглобка. Почистването става чрез последователно изтъркване на отделните части два - три пъти. При специални дезактивационни машини оръжието се нарежда на пирамиди и се дезактивира с помощта на отделни пръскачки така, както е показано на фиг. 58.

Използуваните материали за изтриване се събират в специални изкопани ями, които след свършване на дезактивацията се засипват с пръст. Дезактивацията на артилерийската материална част също така

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

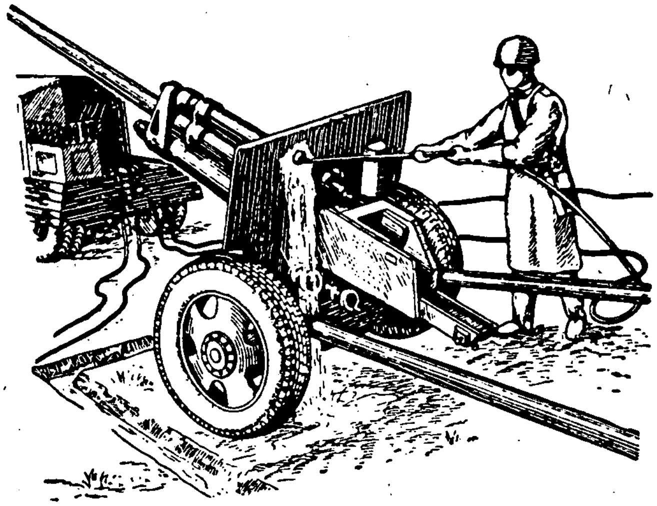
бива частична и пълна. Частичната дезактивация се изразява в избърсване на онези места на оръдието, където войниците имат непосредствен контакт. За целта се ползуват различни тампони от кълчища, парцали и четки от артилерийския дегазационен комплект за дезактивиране на мерника, панорамата и различните механизми.



Фиг. 58. Пълна дезактивация на стрелково оръжие с пръскачка

При частичната дезактивация на минометите особено внимание се обръща на мерника, ръкохватките на повдигателния и страничния механизъм.

Пълната дезактивация обхваща щателна обработка на цялата повърхност на оръжието, като преди това от него се снемат оптическите прибори и шанцовият инструмент. За удобство в работата и по-добро стичане на мръсната вода тялото на оръдията се поставя под ъгъл нагоре. Водната струя, с която се измиват радиоактивните вещества, за да не



Фиг. 59. Извършване на пълна дезактивация на оръдие

пръска работещия, се насочва под ъгъл 30—50° по отношение на измиваната повърхност (фиг.59). Частите на оръдието, които са покрити

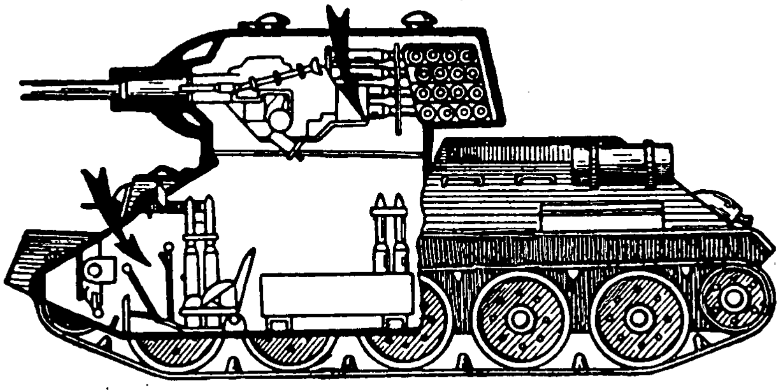
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

със смазка, се обработват на ръка, като се изтриват с парцал, напоен с бензин или газ.

Тягата, оптическите прибори и бойните припаси се дезактивират едновременно или след дезактивацията на оръдията.

При дезактивацията на мерните прибори трябва да се работи много внимателно, като отначало с мек парцал се отделя прахът, след което се избърсват всички повърхности.



Фиг. 60. Места за частична дезактивация на танк

Дезактивацията на артилерийските бойни припаси се състои в избърсването им с парцал, напоен с газ или бензин. Могат да се използуват и специални разтвори за изпиране или пък да се измиват с водна струя. След това бойните припаси се избърсват до сухо, смазват се и се поставят в опаковка.

Ако опаковката на бойните припаси е херметическа, дезактивират се само външните повърхности на опаковката чрез измиване с водна струя или избърсване с мокри парцали.

Частичната дезактивация на танковете, самоходните артилерийски установки и автомобилите нормално се извършва след излизането им от заразения район. При тази дезактивация преди всичко се изтриват с парцал или се измиват тези места, до които имат съприкосновение екипажите (фиг. 60).

При пълната дезактивация тази техника се измива щателно с вода от автомобилни цистерни, като се внимава радиоактивните вещества да се отделят както от горната част на корпуса, така и отдолу. Дезактивацията се извършва отдолу нагоре и от носовата част към задната част.

След измиване на външните повърхности дезактивират се вътрешните повърхности, като се ползуват парцали, кълчища и други тампони, потопени във вода или газ. След дезактивацията се избърсват измитите повърхности (само за вътрешността) до сухо.

Използуваните парцали за работа при дезактивирането трябва да се хвърлят в специални ями.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Дезактивацията на свързочните средства обикновено се извършва на месторазположението им, без да се прекъсва връзката. Те се изтриват с влажни тампони или се измиват с метли и четки.

Дезактивацията на радиостанциите трябва да се прави много внимателно, за да не се повредят отделните части.

Полевият кабел се дезактивира, като се прекарва през ваната на прибора за осмоляване, напълнена с вода, или през сух землен пласт.

Фиг. 61. Частична дезактивация на облеклото

Полевият кабел и имуществото, с което са построени полупостоянни линии, не се подлагат на специална обработка.

При дезактивацията на оръжието и техниката не трябва да се забравят мерките за безопасност на хората, които дезактивират.

Дезактивация на облеклото и снаряжението. Дезактивацията на облеклото и снаряжението се извършва обикновено след дезактивацията на оръжието и бойната техника. Тя може да стане, както и за техниката, в заразен район или след неговото напускане. При извършване на частична дезактивация облеклото и снаряжението не се снемат. Отделянето на радиоактивните вещества става чрез изтупване, изчеткване или избърсване. Допуска се снемането само на горното облекло (шинели, наметала и пр.), както е показано на фиг. 61.

Частичната дезактивация трябва да обхване облеклото, обувките, снаряжението и индивидуалните средства за противохимическа защита.

Лятно време, ако обстановката позволява, допуска се изплакване на облеклото и обувките в чисто водохранилище, а зимно време може да се използува чист сняг.

При дезактивацията е необходимо да се оказва взаимна помощ, като се пазим от напрашване помежду си.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

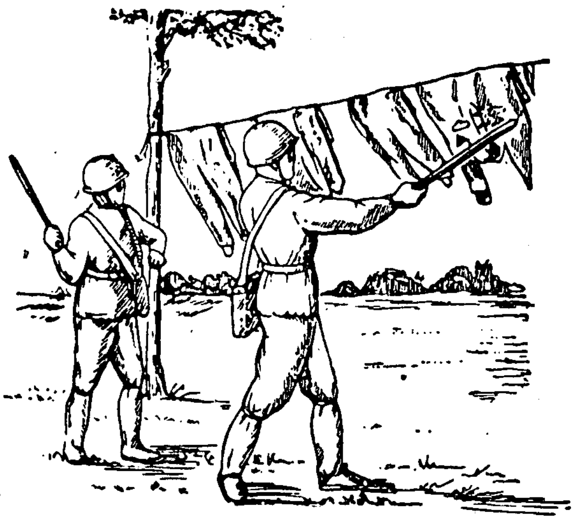
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Пълната дезактивация на облеклото и снаряжението нормално се прави извън заразените райони или на умивачно-дезактивационните пунктове. Преди да се пристъпи към дезактивация, облеклото и снаряжението се снемат от войниците, нареждат се на въжета или дървета и щателно се изтупват (фиг. 62).

Предмети от конското снаряжение, като кече или въжета, се измиват с четки или мокри тампони.

Обувките и ботушите нормално се поставят на колове и се измиват с разтвори с помощта на четки или пък се избърсват с мокри тампони.

Личното снаряжение на войника се дезактивира, като се измива или се избърсва с мокри тампони, след което се нарежда на платнище за подсушаване.



Фиг. 62. Пълна дезактивация на облеклото

Дезактивацията на облеклото и снаряжението трябва да приключи с дозиметричен контрол, който да установи безопасно ли е тяхното използуване.

Дезактивация на продоволствието и фуража. В случай че радиационното разузнаване установи заразяването на продоволствието и фуража с радиоактивни вещества, тяхната употреба може да се допусне само след съответна дезактивация. В краен случай при заразяването със съвършено малки дози радиоактивни вещества те могат да се използуват с разрешението на лекаря. Ако степента на заразяването особено за откритите продоволствени запаси е голяма, то те се подлагат на унищожаване.

Дезактивацията на продоволствието и фуража изисква специална подготовка и условия и затова обикновено се организира централизирано и особено за возимите запаси.

Носимите запаси от продоволствието, които са заразени с радиоактивните вещества повече от допустимите норми, се унищожават. Консервите с херметическа опаковка могат да се използуват след съответна проверка на съдържанието и с разрешението на лекарите.

Пунктовете за дезактивация на продоволствието и фуража се устройват в района на складовете.

Към дезактивация се пристъпва, след като се вземат необходимите проби и се направят изследвания за установяване степента на заразяване.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

В зависимост от вида на продоволствието, от неговата опаковка и степента на зараженост дезактивацията се извършва по следните начини:

— чрез преместване на хранителните продукти (фуража) от заразената опаковка в незаразена;

— чрез отделяне на заразения слой от продукта;

Фиг. 63. Дезактивация на продукти в чували

— чрез измиване на заразените продукти с водна струя под налягане;

— чрез измиване на опаковката с топла вода или с водни сапунени разтвори, с изпиращи състави и чрез изтриването им с парцали.

Захарта, солта, брашното, оризът и др. продукти, които се съхраняват в чували, се пресипват в чисти чували. Преди пресипването чувалите се измиват, като се обръщат със зашитата страна нагоре и се поставят на специални дървени скари (фиг. 63). След това пресипването става с лопатка.

Ако продуктите се намират в двойна опаковка, най-напред се снема външната опаковка и се измерва степента на заразяването на вътрешната. Ако вътрешната опаковка се окаже заразена по-високо от допустимите норми, съдържанието се прехвърля в друга опаковка.

Онези хранителни продукти, които се съхраняват в бурета, сандъци, каци и пр., като мазнини, сланина, сирене и др., се дезактивират, като се почне от тяхната опаковка. Отделянето на радиоактивните вещества от опаковката става с водна струя, както е показано на фиг. 64, и едновременно с това се изтриват с четки или намокрени парцали. Избърсването на различните кутии,сандъци и пр. трябва да се прави няколко пъти,

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

след което се извършва дозиметричен контрол и при необходимост дезактивацията се повтаря.

Пресните зеленчуци, месото и рибата се измиват обилно с вода, след което се подлагат на дозиметричен контрол (фиг. 65).

Заразеният кухненски инвентар, като тенджери, термоси, казанчета, баки и пр., се дезактивира чрез щателно измиване с гореща вода и сапунени разтвори.

Фиг. 64. **Дезактивация на продукти в буре**

Особено важна дейност при ликвидирането на последствията от атомното нападение е дезактивацията на водата. При употреба на атомно оръжие необходимостта от вода наред с нуждите за пиене, готвене и миене нараства и от нуждата за извършване на дезактивацията. Всичко това налага голямо внимание за своевременното снабдяване на войските с чиста вода и особени грижи при използуването на естествените водоизточници (реки, езера и пр.).

При разузнаването на водоизточниците трябва да се установи състоянието и дебитът им, степента на заразяването както на водата, така и на околната местност. При установяване на радиоактивно заразяване на водоизточниците те се обозначават с условни знаци или се забранява използуването им.

Фиг. 65. **Дезактивация на месо**

За да може част от наличните водоизточници да бъде запазена от въздействието на радиоактивните вещества, трябва своевременно да се подготвят, за да не се позволи проникване на радиоактивна пепел или други радиоактивни вещества до повърхността на водата.

При използуването на открити водоизточници целесъобразно е

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

да се изкопава шахтов кладенец на известно разстояние от извора или водата, като водата се отвежда до него по канали, запълнени с филтриращ материал (пясък, чакъл). Шахтовите кладенци се оборудват в противоатомно отношение, като се вкопават в земята и се покриват.

Най-удобни за използуване са дълбоките кладенци, които сравнително са най-устойчиви на действието на ударната вълна и поради своята малка повърхност лесно могат да се покрият и защитят от проникването на радиоактивните вещества.

Всички открити водоизточници, намиращи се на разстояние 1·5 км от епицентъра на експлозията, под въздействието на потока неутрони и радиоактивните вещества на облака прах, който се образува след експлозията, могат да бъдат силно заразени. На по-голямо разстояние водоизточниците се заразяват само от радиоактивните вещества, като степента на заразяването е много по-слаба.

Заразената с радиоактивни вещества вода е опасна за човешкия организъм и използуването на вода, чието заразяване превишава допустимите норми, е забранено.

Към дезактивация на водата се пристъпва, когато не съществуват възможности за използуването на чиста вода или количеството незаразена вода не задоволява минималните потребности на войските.

Работата по дезактивацията на водата се организира и извършва от инженерните войски с помощта и съдействието на органите на радиационното разузнаване. Заключение за годността на водата за употреба от хора и животни дават медицинските и ветеринарни органи.

Дезактивацията на водата се извършва по няколко способа:

— чрез изпаряване на заразената вода и кондензиране на водните пари;

— чрез филтриране с щатни и подръчни средства, утаяване с предварително коагулиране;

— утаяване и изземване на горните пластове за преливането им в чисти хранилища;

— филтриране по йонен способ.

Шахтовите кладенци, заразени с радиоактивни вещества, се изчистват чрез многократно изчерпване на всичката вода и отстраняване на заразения земен слой от дъното на кладенеца. При изчерпването на водата вътрешните стени на шахтовия кладенец и цялата повърхност на земната част на дъното щателно се измиват. Местността около кладенеца на радиус 15—20 м, както и пътищата, които водят към водоизточника, се дезактивират на общо основание.

Всички работи по дезактивацията на водата се извършват при спазването на мерките за безопасност за хората, които работят на водните пунктове, като се използуват противогази, гумени престилки, ботуши, ръкавици и пр.

Дезактивация на местността и инженерните съоръжения. Радиоактивното заразяване на местността е голяма пречка при изпълнението на бойните задачи от войските. Това задължава командирите във всички случаи да извършват дезактивация на местността и инже-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

нерните съоръжения в обем и по време, които ще осигурят изпълнението на поставената задача.

Както при дезактивацията на оръжието и техниката и тук целта е да се отстранят радиоактивните вещества от заразените повърхности на земята или инженерните съоръжения или пък чрез тяхното покриване с незаразени материали да се осигури преминаването през заразени райони, без да се подлагат войските на действието на радиоактивните вещества.

Заразяването на местността с радиоактивни вещества в резултат на атомния взрив не е еднакво в целия район на взрива. По-близкият терен до епицентъра на експлозията ще бъде по-силно заразен, а другият колкото повече се отдалечава от него, толкова степента на заразяването ще бъде по-малка. Освен това заразяването под въздействието на потока неутрони ще бъде в зависимост от състава на почвата. Ако има вятър през време на експлозията, получава се особено неравномерно разпръскване на радиоактивния облак и оттук неравномерно заразяване на местността. На откритите участъци, където вятърът нормално ще издухва пепелта и другите материални частици, радиоактивното заразяване на местността ще бъде по-малко и обратно. Както се подчерта по-горе, районите, покрити с гори, осигуряват по-малка степен на заразяване. Всичко това налага щателно извършване на радиационното разузнаване, правилно определяне степента на заразяването и намиране на обходни пътища.

Към дезактивация на местността се пристъпва, когато степента на радиацията е по-голяма от един рентген в час.

Преди всичко дезактивацията трябва да обхване онези участъци, в които непосредствено са разположени войските или пък трябва да преминат през тях. Такива са пътищата, районите на позициите, отделните райони на командни и наблюдателни пунктове, улици в населените пунктове и пр.

Отстраняването на заразения землен слой от почвата става главно по два начина: ръчно и със специални машини.

Практически дезактивация на местността се осъществява, като се отстрани най-малко 3 см от горния пласт на почвата или се изоре същата на дълбочина не по-малко от 20 см. При замръзнала, скалиста или блатиста почва заразената повърхност може да бъде изолирана чрез засипване. Засипването на заразен участък от местността се извършва чрез употребата на незаразена пръст, като новият пласт трябва да бъде с дебелина поне 8—10 см.

Когато се наложи да се правят проходи в заразени участъци, те се устройват за еднопосочно движение. За двупосочно движение се правят два прохода на разстояние от 25 до 30 м един от друг.

За осигуряване на маньовъра, подвоза и евакуацията на войските трябва да се извършва навременна дезактивация на пътищата. След установяване на степента на заразяването при радиацията, по-висока от един рентген в час, се пристъпва към дезактивация. Дезактивационните работи може да се извършат на ръка или с инженерни машини. При

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

радиация повече от 10 рентгена дезактивацията по начало се извършва с инженерни машини (автогрейдери, булдозери и скрепери).

Дезактивацията на пътищата обхваща снемане на горния слой от заразената почва или поставяне на покритие, или засипване на заразения участък с незаразена пръст и най-после чрез измитане или измиване, ако платното на пътя позволява това. Зимно време дезактивацията на пътищата се извършва чрез махане на горния слой сняг, като за целта се използуват снегорини. В участъци, където почвата е особено твърда или покрита с лед и пр., дезактивацията се извършва с използуването на покривки, направени от слама, храсти и др. настилки.

Дезактивацията на пътищата и улиците с каменна, бетонна или асфалтова настилка се извършва посредством измиване или измитане от специални машини. В краен случай това може да стане и ръчно.

Значително по-трудна е дейността по дезактивацията на позициите, окопите и укритията. Трудността тук произтича от това, че дезактивацията по-трудно се поддава на механизация и значителен обем от работите се извършват ръчно.

Към дезактивацията на фортификационните съоръжения се пристъпва, когато степента на радиацията е по-голяма от 0·1 рентгена в час. Дезактивацията се извършва непосредствено от войските, които ги заемат, при съдействието на органите на радиационното разузнаване. Основните способи, които се прилагат при дезактивацията, са:

— отстраняване на заразения слой от почвата на брустверите, стените и дъното на дълбочина 3—4 см;

— измитане с метла заразените повърхности;

— изтриване с мокър парцал;

— измитане с измиване и снемане на заразения пласт слой.

Отстраняването на заразения пласт почва ще обхване най-вече траншеите и ходовете за съобщение. Заразената почва, която се снема от откритите участъци на траншейната система, се събира в специално устроени ями, като пренасянето ѝ става с кофи, чували и пр. Зимно време, когато съоръженията са покрити със сняг, дебелината на отстранения сняг трябва да бъде поне 4—6 см, а поради замръзването на почвата при липса на сняг се прави щателно измитане на съоръженията.

Окопите и ходовете за съобщение и другите съоръжения, които имат облицовка, както и вътрешните помещения, се дезактивират, като се измитат с влажни метлички, четки или парцали. За сигурност едно и също място се измита най-малко два пъти. Събраните отпадъци при дезактивирането заедно с радиоактивната пепел (сняг) се събират и се изхвърлят на специални места. След свършването на дезактивацията обязателно се взема проба и се проверява степента на заразяването. Ако тя надминава допустимата норма, дезактивацията се повтаря.

Дезактивацията на заразените участъци от местността, пътищата и фортификационните съоръжения се извършва при използуването на защитните средства, като се спазват указанията да не се яде, пуши и

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

сяда без нужда в заразените участъци. Не трябва да се пропуска и дезактивацията на машините и средствата, с които се извършва дезактивация.

г) Ветеринарна обработка

Ветеринарната обработка има за обект заразения добитък, който обслужва войските. Както и санитарната обработка, тя има голямо значение, защото чрез нейното правилно функциониране войсковият добитък навреме се връща да изпълнява своята задача.

Частичната обработка се извършва в заразените райони, без да се снемат защитните средства на животни (очила и противогаз). Обработката се състои в пročесване тялото на животното със снопче слама,

Фиг. 66. Частична дезактивация на кон

трева или четка и отстраняването на радиоактивния прах от амуницията, както е показано на фиг. 66. След това с натопени в незаразена вода парцали се избърсват частите на тялото на добитъка, които непосредствено лежат до противогаза и очилата. В незаразените райони се разрешава снемане на противогаза и очилата.

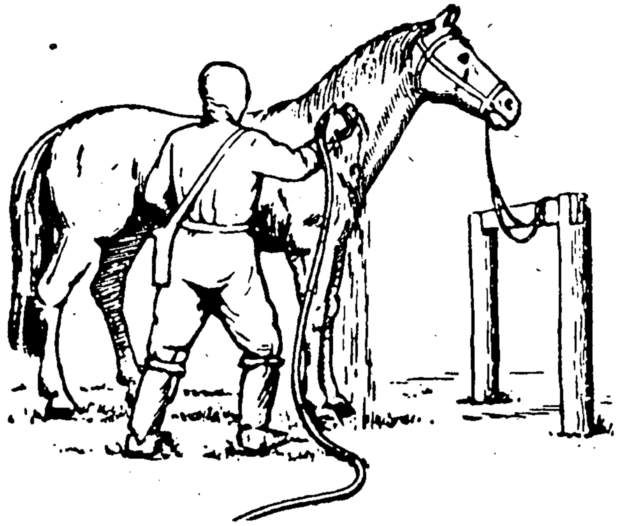
Пълна ветеринарна обработка се извършва на умивачно-дезактивационния пункт или ветеринарния лазарет на специално подготвени площадки. Площадката се състои от чиста и замърсена част. На замърсената половина се правят коневръзи и стелажи за дезактивация на снаряжението. Обработката обхваща пълно измиване тялото на добитъка със силна струя вода и четка, така както е показано на фиг. 67. При възможност се устройват душове, които позволяват използването на текуща вода. За да не се застоява водата при измиването на площадката, изкопават се водоизточни канавки. На чистата половина на площадката

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

конете се отвеждат на специално устроени коневрързи, където се подсушават и получават необходимата лечебна помощ. Освен това създават се условия и за подсушаване на дезактивираната амуниция.

При дезактивацията на животните особено внимание трябва да се обърне на главата, копитата и опашката, тъй като там съществуват възможности за задържане на радиоактивните вещества.



Фиг. 67. Пълна дезактивация на кон

Лятно време при наличие на река, езеро и др. водоизточници най-удобно е животното да се измие и изкъпе изцяло.

Когато е студено, след дезактивацията и измиването на животните те трябва да се покрият с попони и се развеждат (разходка).

След извършване на ветеринарната обработка добитъкът се подлага на дозиметричен контрол, след което се отвежда към сборните райони.

д) Други мероприятия по ликвидиране на последствията от атомно нападение

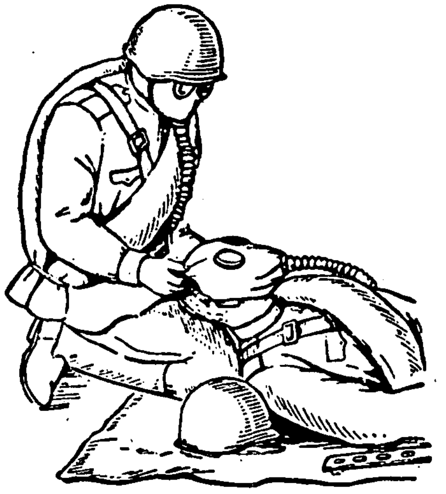
Както вече стана ясно, в резултат на атомния взрив ще бъдат разрушени част от отбранителните съоръжения, сгради и пр., ще избухнат пожари, много поделения и войници може да се окажат затрупани в скривалищата или траншеите и ходовете за съобщение и ще е необходимо да им се даде първа помощ. Освен това ще трябва да се вземат мерки за възстановяване движението по пътищата и поправка на разрушените отбранителни съоръжения. Това налага да се извършат редица мероприятия, които в най-кратък срок да възстановят боеспособността на войските.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Дейността по разчистването на срутванията, които пречат на войниците да излязат от своите укрития или пък да използуват окопите при изпълнението на своите задължения, е една от първите дейности по ликвидиране на последствията от атомното нападение. За да стане това бързо, трябва командуването да разполага със специални групи (команди), наречени аварийно-спасителни команди.. В техния състав се включват сапьори, дозиметристи и медицински органи. Трябва да се има предвид обаче, че те не могат да окажат помощ едновременно навсякъде, и затова войските трябва със собствени сили да направят, каквото могат.

Оказване първа помощ на пострадалите от атомното нападение войници е важен момент, тъй като затрупаните хора най-често ще получават освен външните рани още и счупване на кости, разкъсване на вътрешни органи, вътрешни кръвоизливи и др., без това да е външно видимо. Всичко това налага да се подхожда твърде внимателно, когато се дава медицинска помощ на ранения.



Фиг. 68. **Даване първа помощ на пострадал (поставяне на противогаз)**

Ако в устата, ушите или очите на пострадалия е попаднала пръст, която е нормално заразена с радиоактивни вещества, тя трябва да се отстрани с парче марля или края на кърпичката; раните и изгорелите повърхности независимо от това, дали са замърсени, или не, се превързват.

Ако помощта се дава в заразена с радиоактивни вещества местност, откритите части на пострадалия трябва да се измият или избършат и да се постави противогазът, както е показано на фиг. 68.

Ако на пострадалия е пламнало облеклото, то трябва незабавно да се изгаси, като се покрие с платнище или се хвърли пръст (фиг. 69), за да се ограничи достъпът на въздуха там, където е станало запалването. Запаленото облекло не трябва да се снема. Не трябва да се разкъсват й образувалите се мехури при изгарянето.

Вдигането на пострадалите от атомното нападение от мястото, откъдето са намерени, трябва да става по указание на медицинския орган внимателно и без сътресение.

Ако в участъка на дадено поделение са възникнали огнища на пожар, които пречат за изпълнението на бойната задача или които могат да подпалят бойните припаси и горивото, пристъпва се към незабавното им потушаване. Запалената растителност, облицовката на стените на траншеите и окопите могат да се гасят, като се бие по пламъка с влажни пар-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

цали и метли. Горящите неголеми елементи от отбранителните съоръжения, като капаци на амбразури, щитове, отделни дъски от стълбища и пр., могат да се изгасят, като се хвърлят на дъното на окопа и се засипят с пръст.

Ако огънят е обхванал материалната част, например танковете или самоходно-артилерийските установки, които имат пожарогасители, последните се поставят в действие.

Фиг. 69. **Гасене на облекло (поставяне на платнище върху горящо място)**

Гасенето на пожари в гористи райони е трудно и иска своевременна намеса и правилни действия. Гасенето на ниския пожар става със затрупване на огъня с прясно отрязани клони от дървета, хвърлянето на пръст върху горящите листа и съчки и пр. При силен вятър и бързо разпространение на огъня се устройват просеки с ширина 4—5 м, които се очистват от храсти и растителна покривка.

Борбата с високите пожари се води чрез устройване на просеки по пътя на движението на огъня с ширина 2—3 м и височина на дърветата. При възможност войските трябва да се извеждат от горящите гори.

Възстановяването на отбранителните съоръжения и пътищата се извършва със силите на войските, подпомогнати от инженерните поделения и органите на радиационното разузнаване. Последователността на възстановяването се определя от старшия командир, като най-напред се оправят съоръженията за огневите средства и укритията за личния състав, а след това се възстановяват ходовете за съобщение, укритията за техниката, пътните съоръжения и пр. За да се осъществи маньовърът на резервите и да се извърши навреме евакуацията, използуват се обходни пътища, докато се дезактивират необходимите райони и се поправят пътните съоръжения.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Както се вижда от гореизложеното, начините за ликвидирането на последствията от атомното нападение са разнообразни и изискват правилна организация и бързо и навременно осъществяване на всички мероприятия, за да може навреме да се възстанови боеспособността на войските и да им се даде възможност успешно да изпълнят поставената им задача.

5. НЯКОИ ОСОБЕНОСТИ В ДЕЙСТВИЯТА НА ВОЙСКИТЕ ПРИ УПОТРЕБА НА АТОМНО ОРЪЖИЕ

Бойните действия на войските при употреба на атомно оръжие не се различават от основните положения, които се утвърдиха на базата на опита от Втората световна война, но тъй като се отчетоха поразяващите фактори на атомното оръжие, появиха се някои особености.

Тези особености произхождат от необходимостта войските да се запазят от действието на атомното оръжие и да си осигурят изпълнението на бойната задача.

Заплахата от атомно нападение на противника занапред ще слага своя отпечатък върху всички бойни дейности на войските. Това обстоятелство извежда като първо мероприятие предупрежденията на войските за атомната опасност.

Подаденият сигнал от органите на противовъздушната отбрана и службата за въздушно наблюдение, оповестяване и свръзка трябва своевременно да се подема от всички командни пунктове и незабавно да се снема до войските. Командирите от всички степени са задължени да проверят дали сигналът е стигнал и до последния войник.

Даденият сигнал може да завари войските в две положения: в бой или извън него.

Ако сигналът завари войските в бой, целият личен състав взема мерки за защита от атомното оръжие. Това значи хората да се приберат в укритията, да затворят плътно всички входове и отвори и да държат противогазите в положение на „бойна готовност". Наред с това разчетите на оръдията и танковете трябва незабавно да изтеглят материалната част в специалните съоръжения и да приведат оръжието в положение, в което те ще бъдат запазени най-сигурно.

В танковете и самоходно-артилерийските установки трябва плътно да се затворят всички люкове, да се отстранят в близост на същите резервоарите от допълнително гориво, да се сложат чохлите на телата на оръдията и да се покрие материалната част с щатните покривки.

За избягване на пожари веднага се загасяват огньовете в убежищата и печките в землянките; угасват се също така газените лампи, затварят се комините и вентилаторите.

При атомна тревога трябва да се наблюдава за дейността на противника от специално устроени наблюдателни пунктове, за да не се даде възможност на противника да използува това положение за свои цели.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Когато войските не са в бой и до тях стигне сигналът за атомна опасност, те са длъжни да вземат всички мерки за предпазване от атомния удар.

Ако войските са място или в почивка, те веднага се насочват към определените им убежища, а ако няма такива, използуват местните предмети и гънките на местността за прикриване.

Фиг. 70. **Положение на войника при използуване на канавка**

При марш движението не се прекратява. Личният състав само поставя противогазите и наметалата. Водачите на автомобилите продължават кормуването, като затварят страничните прозорци и всички отвори.

Ако сигналът за атомна опасност завари войските в движение при превоз с влак, движението продължава, като всички врати и прозорци на вагоните се затварят. Индивидуалните средства за противохимическа защита се привеждат в положение на готовност.

Излизането от укритията, ако не последва атомен удар, трябва да става само с разрешение на командирите.

Ако последва атомен взрив, целият личен състав остава по местата си, като взема мерки за предпазване от атомното въздействие. Най-опасно е положението на тези войници, които са извън укритията или когато атомният взрив е последвал неочаквано.

От избухването на бомбата до идването на ударната вълна, както е известно вече, има само няколко секунди. При добра съобразителност и ловкост войникът може умело да се прикрие зад някое закритие или да използува различните съоръжения, които отстоят от него на двe-три крачки. Като закритие войникът може да използува всяка гънка на местността или отделен местен предмет, като канавка или яма, както е показано на фиг. 70 и 71, купчина пръст или могилка, отделен зид или ограда, както е показано на фиг. 72, 73, и др.

Ако наоколо няма никакви условия за укриване, войникът трябва да свие китките на ръцете под тялото си и да легне на земята с лице към нея и крака, обърнати към взрива. Очите незабавно се затварят. Такова положение на войника го предпазва от обгаряне и ослепя-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Фиг. 71. Положение на войника при използуване на яма

Фиг. 72. Положение на войника зад купчинка пръст

ване и намалява повърхността за действието на ударната вълна. Най-удобното положение на войника при открита местност е показано на фиг. 74.

По същия начин трябва да се използуват траншеите и окопите. За да се предпази сигурно, войникът трябва да легне на дъното на окопа, без да проявява каквото и да е любопитство по посока на атомния взрив.

В хода на боя войникът може успешно да се прикрие зад някой танк, бронетранспортьор, щит на оръдие и др., както е показано на фиг. 75.

Нормално малко време след използуването на атомното оръжие противникът ще премине в настъпление, за да използува своевременно ефекта от атомния удар. Това обстоятелство изисква незабавно да се вземат мерки за възстановяване боеспособността на поделенията, в чийто район е паднала атомната бомба.

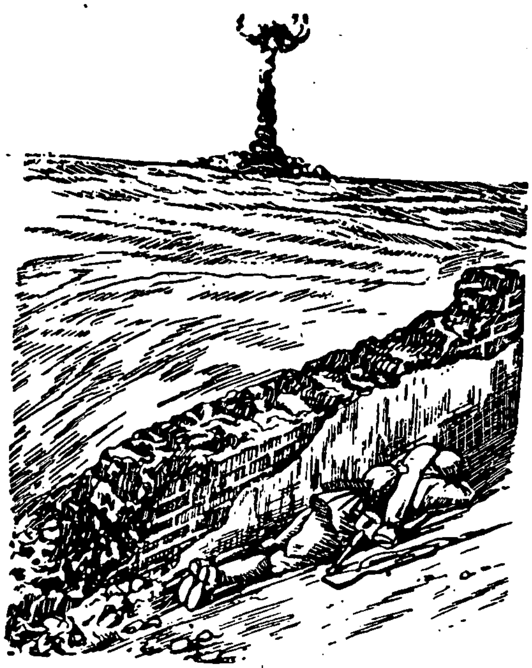
Атомното нападение на противника в хода на боя не може да служи като основание за прекратяване на боя. Поделенията, които са претър-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

пели атомен удар, са длъжни да намерят сили в себе си и своевременно да се противопоставят на противника.

В някои случаи обстановката ще изисква бойните действия да се водят на местност, която е заразена с радиоактивни вещества. Това също не може да бъде причина за отклоняване изпълнението на поставената задача. В такъв случай обаче войските са длъжни да вземат мерки за защита от вредното влияние на радиоактивните вещества и да спазват някои правила.



Фиг. 73. Положение на войника зад стена

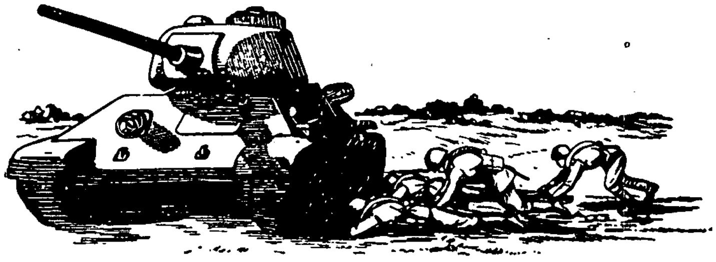
По начало заразените участъци от местността трябва да се обхождат, но ако няма такива условия, те трябва стремително и бързо да се преодоляват. В такъв случай войските използуват индивидуалните средства за противохимическа защита, различните постелки, наметала, комбинезони и пр. (фиг. 76).

Преминаването през заразените райони трябва да става бързо, без да се вдига прах (фиг. 77). Ако об-

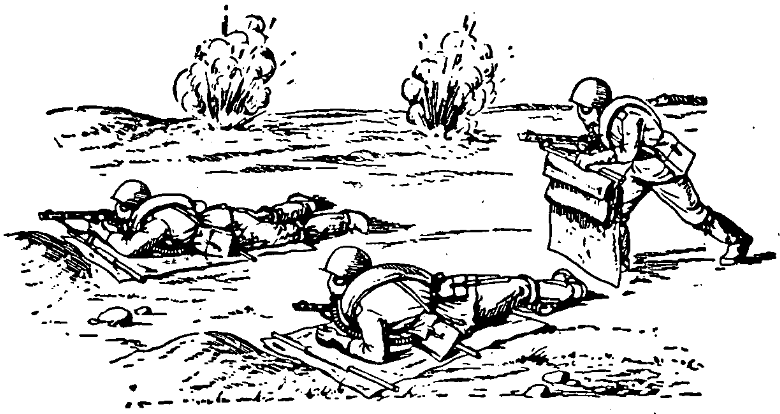
Фиг. 74. Положение на войника на открито

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6



Фиг. 75. Прикриване на войника зад танк



Фиг. 76. Действия на войника в заразен участък с радиоактивни вещества

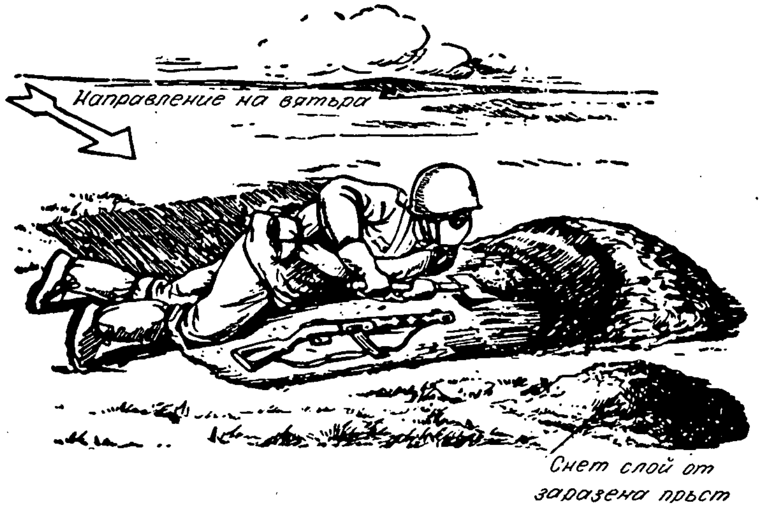
Фиг. 77. Преминаване на войници през заразен участък с използуване на защитни средства

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

становката налага да се води огнева дейност, войниците трябва да използуват подръчни средства или предварително подготвени рогозки, платнища и др., върху които те да залягат.

Ако през района трябва да преминават моторни превозни средства, необходимо е предварително да се затворят всички стъкла на кабините на водачите, да се спуснат капаците и да се покрие оръжието с щатни и подръчни средства. Танковете задължително затварят всички люкове и се изключва вентилаторът на бойното отделение.



Фиг. 78. **Изработване на стрелково трапче в заразен участък**

Ако се наложи спиране и окопаване в заразена местност, най-напред трябва да се снеме горният заразен слой пръст, внимателно да се отхвърли настрана, и то по посока на вятъра, без да се напрашват съседите. След това се изработват онези съоръжения, които са необходими на войските. Брустверът за водене на стрелба на окопите трябва да бъде обязателно от незаразена пръст (фиг. 78).

При преминаване по пътища, които са заразени с радиоактивни вещества, отдалечението между отделните превозни средства нормално е по-голямо. Трябва да се внимава прахът, който се вдига от предното превозно средство, да не засипва идващите коли зад него (фиг. 79). Войниците, които се превозват в такива средства, трябва да бъдат с противогази и наметнати с платнища или други средства, така както е показано на фиг. 80.

При преодоляването на заразен участък като танков десант войниците също трябва да са с противогази и наметала, както е показано на фиг. 81.

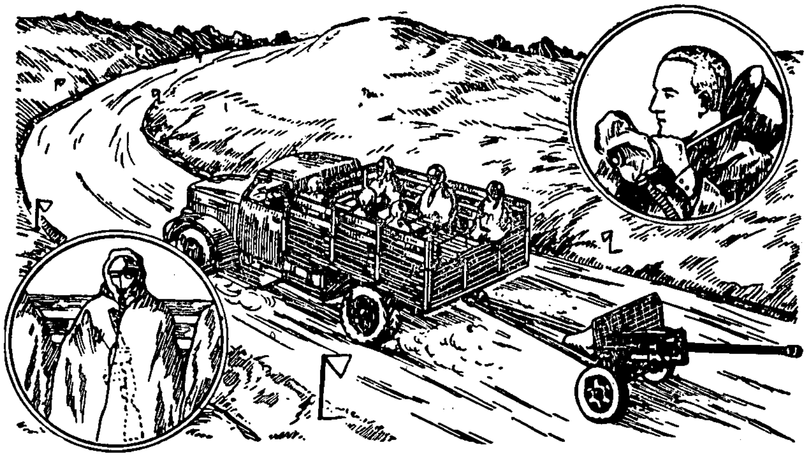
След излизането от заразения район трябва да се извърши дозиметричен контрол за степента на облъчването на личния състав, без това обаче да пречи на бойната дейност.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

При организацията и воденето на настъпателния и отбранителния бой също така е необходимо да се имат предвид особените условия, при които ще бъдат поставени войските.

Фиг. 79. Движение на моторни коли по заразен път



Фиг. 80. Положение на войниците в превозно средство при преодоляване на заразен участък

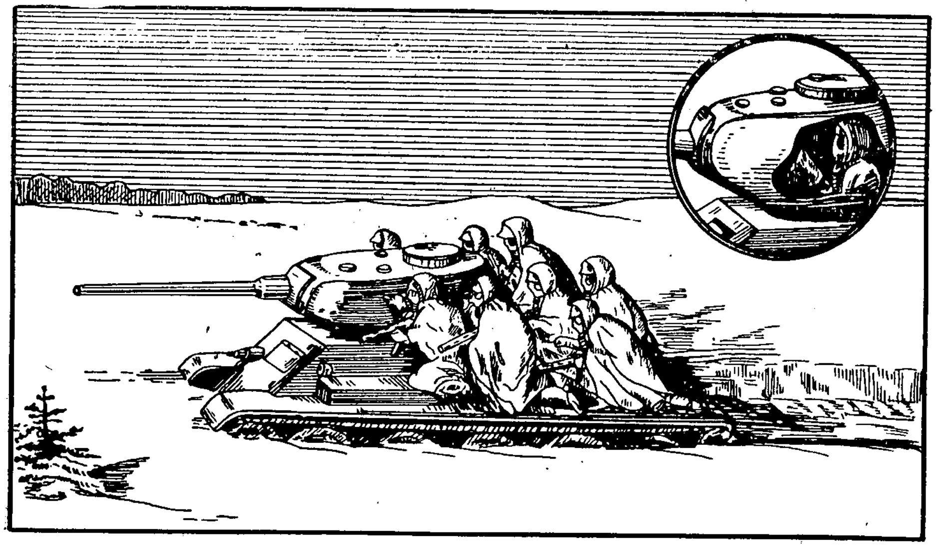
Атомната опасност налага изходното положение за настъпление на войските да се оборудва по начин, по който сигурно ще бъдат предпазени войските от атомното въздействие на противника.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

На самото изходно положение войските не бива да престояват дълго, тъй като колкото по-дълго време са събрани на едно място, толкова по-голяма е вероятността те да бъдат открити и ударени с атомно оръжие. При употреба на атомно оръжие изпъква особено ролята на маскировката и разсредоточението на войските.

Новите и особените условия, при които ще се води съвременният настъпателен бой, ще изискват още по-голямо напрежение на моралните и физически сили на войските и в боя ще има успех онзи, който притежава по-високи морално-боеви качества и висока инициативност.



Фиг. 81. **Преодоляване на заразен участък от танков десант**

Най-характерният белег на съвременната отбрана ще бъде солидното оборудване с оглед да издържи на противникови атомни удари. Преди всичко сега тя трябва да бъде противоатомна, т. е. да създава условия за изпълнение поставените задачи на войските въпреки употребата на атомно оръжие от противника.

Употребата на атомно оръжие сериозно ще разстройва отбраната, ще ѝ нанася чувствителни загуби, ще спъва маньовъра на резервите и ще затруднява управлението на войските. Това положение изисква голяма устойчивост от страна на всички поделения и особено на малките, чиято роля нараства твърде много. Отбраната трябва да разполага с резерви, които да уплътняват районите на атомните взривове и да не позволяват на противника свободно да действува в дълбочината на нашите позиции. Атомното оръжие, както и при настъплението, не може да бъде причина за отбраняващия се да напусне своите позиции. Железният закон на отбраната: „Нито крачка назад без заповед на старшия командир“, сега придобива още по-голяма стойност.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Колкото и опасно да е атомното оръжие, все пак при познаването на неговите физически свойства и въздействието, което то може да окаже върху хората, бойната техника и различните съоръжения, могат да се вземат мерки, които да сведат до минимум ефекта от неговото въздействие и с успех да се изпълни поставената бойна задача. Това обаче предполага особени грижи при подготовката на нашата Народна армия за издигане на необходимата висота нейните възможности за действие при употреба на атомно и химическо оръжие.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Атомната енергия за мирни цели

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

1. АТОМНАТА ЕНЕРГИЯ И НЕЙНОТО ЗНАЧЕНИЕ ЗА ЧОВЕШКИЯ ПРОГРЕС

Овладяването на атомната енергия е едно от най-големите постижения на съвременната наука, което по своето значение се равнява на откриването на огъня. С това ново епохално откритие човечеството навлезе в нова ера на своето културно развитие — ерата на атомната енергия. Намерен е нов неизчерпаем източник на енергия, милиони пъти по-мощен и по-концентриран от всички известни досега енергетични източници. Страхът от недостиг на гориво върху земята изчезна. Само известните засега залежи от уран и торий могат да доставят на човечеството 10—20 пъти повече енергия от всички налични запаси от въглища, петрол, дърва и пр., взети заедно. А още колко нови находища на уран и торий ще бъдат открити! Трябва да се има предвид също така, че ние сме в самото начало на атомната ера. Няма съмнение, че ще бъдат намерени и нови ядрени горива. Твърде вероятно е например да се намерят способи за контролирано произвеждане на термоядрените реакции. По този начин термоядрените експлозиви, като водород, литий и пр., някои от които са много разпространени в природата, ще се превърнат в свръхвисоко калорични термоядрени горива. Освен това ще се намерят и нови начини за освобождаване на атомната енергия, заключена в телата. Всеки килограм от което и да е вещество съдържа в себе си запас от енергия, който се равнява на енергията, освободена при изгарянето на 2,700,000 тона въглища, или $2^1/_2$ пъти повече от енергията, която се произвежда за една година от най-голямата в света водноелектрическа централа — Куйбишевската.

При верижното деление на ядрените горива и при термоядрените реакции се освобождава само около една хилядна част от тази огромна енергия. Останалите 999 части остават засега недостъпни за хората. Но човешкият прогрес няма граници. Науката ще намери начин да се добере и до тях. Тогава световните запаси от енергия ще станат неизчерпаеми. Пред човечеството се откриват нови необозрими перспективи за културен, технически и социален подем. Редица научни и технически проблеми, които в миналото изглеждаха неосъществими мечти, днес се превръщат в реални възможности. По думите на председателя на Съветската академия на науките — акад. Несмеянов, с откриването на атомната енергия „науката достигна такова състояние, че съществува реална възможност да се изпрати стратоплан на луната, да се създаде изкуствен спътник на земята, намерени са ефикасни лечебни средства

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

за болести, които са най-страшен бич за човечеството, пред енергетиката се разкриха съвсем нови хоризонти".

Впрягането на атомната енергия в градивна работа ще даде мощен тласък на развитието на производителните сили и ще създаде предпоставки за подобряване благосъстоянието и издигане жизненото и културно ниво на хората.

2. ВИДОВЕ ИЗТОЧНИЦИ НА АТОМНА ЕНЕРГИЯ

Източниците на атомна енергия могат да се разделят на две групи: маломощни източници на енергия и ядрени горива и експлозиви. Към маломощните източници се отнасят всички естествени и изкуствени радиоактивни изотопи, а към ядрените горива и експлозиви се отнасят верижно разпадащите се изотопи и термоядрените експлозиви. Към тази категория източници на атомна енергия следва да се отнесат и всички екзоенергетични[1] ядрени реакции.

Маломощните източници на атомна енергия се характеризират с това, че скоростта, с която става освобождаването на атомната енергия, не зависи от външни въздействия и се определя от скоростта на разпадането на съответните ядра. При тях атомната енергия се освобождава и използува главно под формата на радиоактивно излъчване. Противно на това скоростта, с която става освобождаването на атомната енергия при ядрените горива и експлозиви, се влияе от външните условия и в повечето случаи се поддава на контрол. Освен това по-голямата част от тази енергия се освобождава във вид на топлина при много висока температура. Тези обстоятелства дават възможност за добиване на голямо количество атомна (ядрена) енергия от тях, която може да се трансформира в електрическа, светлинна, механическа енергия и др. видове енергия и да се използува за различни мирни цели.

Съществуват опити за превръщането на атомната енергия направо в светлинна, електрическа и химическа енергия, но постиженията в тази насока все още са незначителни. Коефициентът на полезното действие на тези превръщания е много малък, т.е. много малка част от атомната енергия се използува за получаване на светлина, електричество или за произвеждането на някои химически реакции. По-голямата част от нея се разсейва или се превръща в топлина и остава неизползувана.

3. ИЗПОЛЗУВАНЕ НА РАДИОИЗОТОПИТЕ ЗА МИРНИ ЦЕЛИ

Радиоизотопите намират широко приложение в медицината, биологията, химията, металургията, строителството и селското стопанство.

[1] Екзоенергетични са тези ядрени реакции, при които се освобождава атомна (ядрена) енергия.

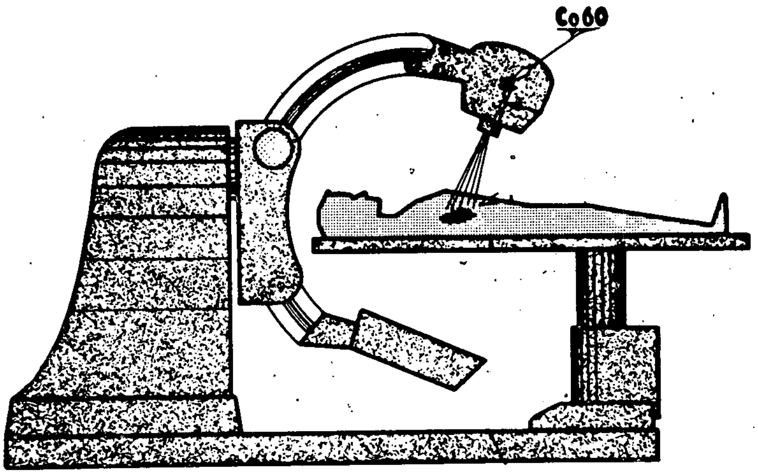
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Те се използуват било като източници на радиоактивни лъчения, било като „белязани атоми" при разрешаването на редица научни и практически проблеми.

а) Радиоизотопите като източници на радиоактивно лъчение

Още Бекерел и Пиер Кюри установиха в края на миналия век, че радиоактивните излъчвания на радия предизвикват изгаряния на кожата. По-късно беше намерено, че слаби дози такива лъчения в някои случаи оказват благотворно влияние върху живите организми. На това тяхно свойство почива лечебното действие на някои топли минерални води и лечението с радиоактивна кал. В по-големи дози радиоактивните



Фиг. 82. Облъчване на тумор с радиоактивен кобалт

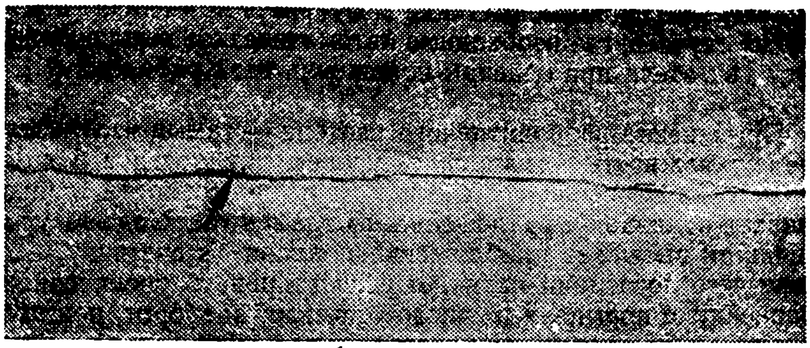
лъчения предизвикват разрушаване на живата тъкан. При това оказа се, че най-силно е разрушителното им действие върху онези клетки, които най-бързо се размножават. Такива са например раковите клетки. Това обстоятелство беше правилно оценено от лекарите и радият отдавна се използува за ограничаване развитието на рака, а в някои случаи и за неговото лекуване.

Радият обаче е много скъп. Получава се много трудно. В целия свят, във всички болници, научни лаборатории и институти, има общо едва около 1 кг радий. Затова в последно време вместо радий в медицината се използува изкуствено радиоактивен кобалт (фиг. 82). Той излъчва интензивно гама- и бета-лъчения. Един грам радиокобалт по интензитета на своето лъчение е еквивалентен на около 320 грама радий. В големи количества се получава сравнително лесно и е по-евтин.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Съществува и друг начин за борба с рака — посредством изкуствени радиоизотопи. Оказа се, че някои от тези изотопи лесно се включват в бързо размножаващите се ракови клетки и се концентрират в тях. Инжектирането в кръвта или добавянето към храната на болния на известно минимално количество от съответния радиоизотоп е достатъчно за атакуването и разрушаването на раковото образуване, без при това да пострадат здравите тъкани. Така например чрез отлагане



Фиг. 83. Гама-снимка на заварка с пукнатина

на радиофосфор в костите могат да се лекуват някои болести на кръвта, чрез радиойод — някои заболявания на щитовидната жлеза и пр.

С мощни препарати от радиокобалт могат да се преглеждат вътрешностите на стоманени и други метални изделия, дебели до 20—30 см, за откриване на вътрешни дефекти (пукнатини, шупли, включвания на чужди тела и пр.) в тях. Този метод на контрол се нарича гама-дефектоскопия. За целта от едната страна на изследвания предмет се поставя кобалтовият препарат, а от другата страна — рентгеновата фотоплака или флуоресциращият екран. Дефектите поглъщат гама-лъчите различно от останалата маса на предмета и хвърлят „сенки“, по които се съди за тяхната форма, големина и местонахождение (фиг. 83).

Излъчванията на радиоактивните изотопи могат да се използват за студено стерилизиране на риба, плодове, зеленчуци и пр. Така например при облъчването на картофите с радиокобалт те се запазват пресни и не покълват в продължение на 9 месеца. Същото става и с лука, зелето, морковите и пр. Едно важно предимство на студената стерилизация пред горещото консервиране е това, че продуктите запазват външния си вид и вкусовите си качества неизменни.

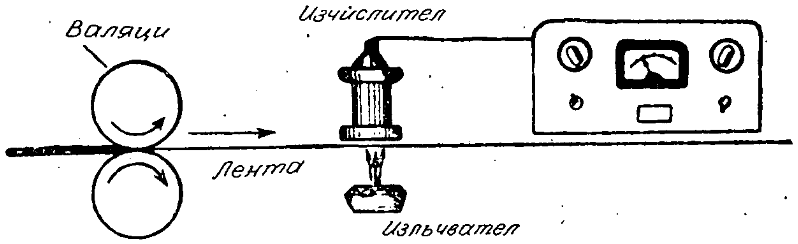
Продуктите от делението на урана и плутона, които се получават в голямо количество при ядрените реакции, могат да се използуват за стерилизиране на храни, за обеззаразяване на семена за посев, за полимеризация на различни пластмаси и пр. Така например

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

с отпадъчните продукти, получени след едногодишна работа на един стокиловатов реактор, могат да се обеззаразяват по 2000 тона зърнени храни дневно, да се стерилизират 80 тона месо или да се произвежда по половин тон полиетилен на ден.

Радиоактивните излъчвания предизвикват флуоресценция в някои тела. Това дава възможност за получаване на „самосветещи“ смеси, каквато е например сместа от 10 хиляди части цинков сулфид и 1 част



Фиг. 84. Автоматично регулиране дебелината на лента с „радиоактивно око“

радиева сол. Такива смеси светят в продължение на векове. Те се използуват за намазването на бутончета, стрелки и циферблати на часовници и др. прибори, с които се работи на тъмно. На този принцип с изкуствени изотопи в бъдеще ще могат да се строят евтини, вечно светещи пътепоказатели, надписи, реклами, флуоресцентни лампи, а може би и самосветещи пътища.

Излъчванията на радиоактивните изотопи позволяват да бъдат построени различни прибори за контрол и автоматизация на производството.

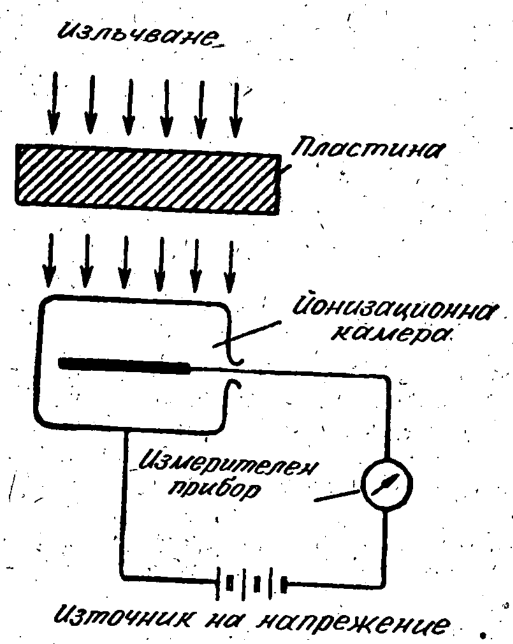
Така например може да се построи прост прибор за автоматично регулиране дебелината на лентата при валцоване на желязна ламарина, при производство на хартия, на ципи от пластични материали, каучук и пр. Този прибор се нарича „Радиоактивно око“ (фиг. 84). Под лентата се разполага подходящ бета-радиоактивен източник, а над нея — броячът на частици. Броят на импулсите, които броячът регистрира в единица време, зависи от дебелината на лентата, която се определя от разстоянието между ролките. Специален автомат, който се задействува от брояча, регулира това разстояние. Ако лентата получи някакво надебеляване, броят на импулсите в брояча намалява. Автоматът сближава ролките и лентата изтънява до нормалната дебелина Обратно, ако лентата стане по-тънка от нормата, броят на импулсите се увеличава, ролките се отдалечават и лентата надебелява.

Съвсем аналогично е устройството на така наречения „пулпомер“. Този апарат беше построен в Съветския съюз за регулиране плътността на пулпа, засмукван от земснарядите. Разликата се състои само в това, че в този случай се работи с радиоактивен източник на гамалъчи, а вместо лента между източника и брояча минава тръбата, по която тече засмуканият от земснаряда пулп.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

По-рано работата на земснарядите се извършваше слепешком. Не се „виждаше" какво е това, което загребва земснарядът от дъното на реката или езерото. Случваше се често да се засмуква или само вода, или много гъст разтвор. В първия случай земснарядът работи напразно, а във втория той се претоварва и има опасност от авария. И едното, и другото води до неправилно използуване на тези мощни машини, до намаляване на тяхната производителност и до бързото им износване. С изнамирането на пулпомера тези недостатъци в работата на земснарядите бяха отстранени. Производителността на труда се повиши от 10 до 15%. Бяха реализирани големи икономии.

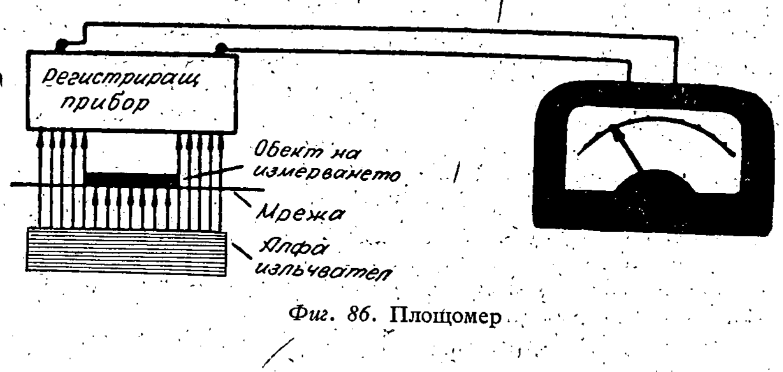


Фиг. 85. Дебеломер

На този принцип почива и действието на дебеломера за различни пластинки от едно и също вещество (фиг. 85). Измерването на дебелините тук се свежда към измерването на йонния ток, предизвикан от гама-лъчението, преминало през изследваните пластинки. Измерителният инструмент предварително е градуиран в дебелини с помощта на пластинки, чиито дебелини са известни.

Почти същото устройство има и апаратът за измерване площта на фигури с различна форма (площомер) — фиг. 86.

Между алфа-радиоактивния източник и регистриращия прибор е опъната тънка мрежа. Алфа-лъчите свободно минават през мрежата. Измерителният прибор е градуиран така, че в този случай стрелката



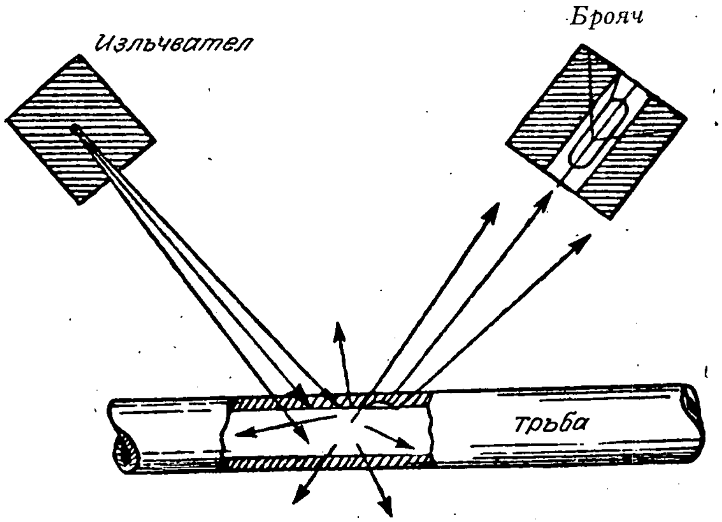
Фиг. 86. Площомер

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

му сочи нула. Когато върху мрежата се постави хартия, изрязана точно по контурите на измерваната площ, тя задържа част от алфа-частиците и приборът показва направо площта на фигурата, колкото и сложна да е нейната форма.

Радиоактивните излъчвания могат да се използуват за регулиране нивото на течности в херметически затворени съдове, да се откриват дефекти в затворени водопроводни, газопроводни и др. тръби (фиг. 87),



Фиг. 87. Откриване повреди в затворени тръби с помощта на гама-лъчи

без да се разваля инсталацията. Те могат да бъдат използувани и за откриване на руди, нафта и др. природни богатства. Въз основа на радиоактивните лъчения са разработени няколко метода за радиоактивно разузнаване на подземни богатства.

б) Белязани атоми

Учените-естествоизпитатели отдавна прилагат „метода на бележенето" при изучаване живота или поведението на прелетните птици, пчелите, на някои опитни растения и пр. Този метод обаче оставаше неприложим към изучаване поведението на микроорганизмите, молекулите и атомите, които обуславят извънредно сложните явления, ставащи в живите организми, в отделните техни органи и тъкани, в почвата, в сложните биохимични, технологични и други процеси. Прилагането му към тези микроскопични и субмикроскопични обекти стана възможно едва след откриването на изотопите и особено след намирането на начини за получаване на изкуствени радиоизотопи на различните елементи.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Радиоизотопите дадоха възможност да се проследи пътят на един елемент в сложните биологични процеси на един жив организъм, да се проучат различни страни на тези процеси, без при това да се внесе каквото и да било смущение в жизнените функции на организма. За тази цел към храната на животното или растението се добавя известно безвредно количество от определен радиоактивен изотоп на даден елемент. Атомите на радиоактивния изотоп се смесват с останалите атоми на елемента. Поради еднаквите им химически свойства с всички останали атоми на елемента те навсякъде вървят заедно с тях. С радиоактивното си лъчение тези „белязани атоми" ни изпращат сведения за движението на елемента в живия организъм, неговото натрупване в един или друг орган, престоя му в организма, промените, на които той е подложен, и т. н.

Движението и натрупването на „белязаните атоми" се следи чрез броячи на частици или по фотографичен път. Така например да предположим, че искаме да установим колко време след поемането на храната от дадено лице натрият, който се съдържа в нея под формата на готварска сол, стига до пръстите на ръката. Даваме на лицето да държи в ръката си един брояч на частици. Към храната му добавяме известно безвредно количество радиоактивен натрий и измерваме времето от момента на поемането на първата хапка до момента, когато броячът започне да брои. Това ще бъде търсеното време.

Още по-нагледен е фотографичният (радиоавтографичният) метод. Да предположим, че искаме да разберем в коя част на доматения плод става най-силно натрупване на цинка. За тази цел доматеното растение се подхранва известно време с цинков хлорид, който съдържа известно количество радиоактивен цинк. След това се откъсват плодовете, правят се тънки разрези от тях, които след изсушаване се нареждат върху фотографическата плака да стоят известно време. След проявяването на плаката местата, където е имало най-силно натрупване на радиоактивен цинк, почерняват най-силно. В позитив те се изобразяват като бели петна и точки (фиг. 88).

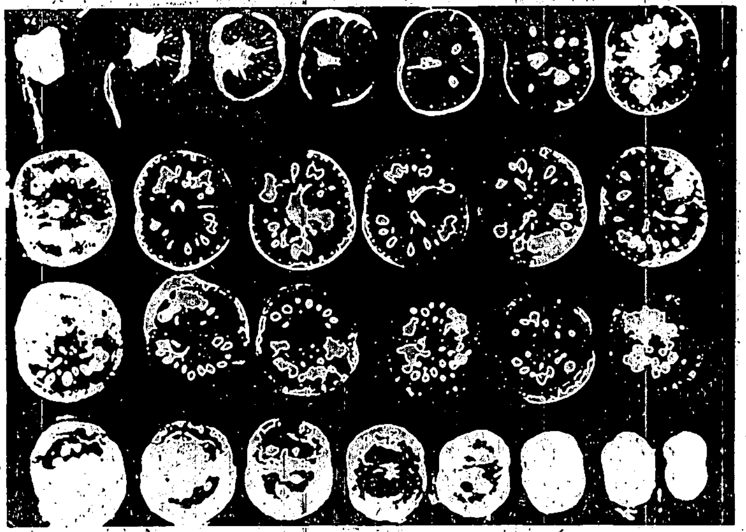
С този „метод на белязаните атоми" бяха направени редица забележителни открития в науката, някои от които се оказаха от голямо значение за практиката. Беше хвърлена светлина върху цяла редица сложни биологически процеси, чието разгадаване по обикновените класически методи би било невъзможно. Бяха изправени много погрешни схващания във физиологията на растенията и животните, в химията и селското стопанство. Открити бяха редица нови факти, получени бяха нови възможности за подобряване качеството на производството и повишаване продуктивността и добивите в селското стопанство. Така например посредством белязани атоми на радиофосфора бяха решени редица трудни въпроси из областта на биохимията на главния мозък. Беше уяснена физиологичната същност на измененията в кората на главния мозък, които се появяват при сън и при възбуда, чрез дразнение на централната нервна система. Изучена беше обмяната на веществата в различни тъкани или органи. Установено беше, че мазнините

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

не са само резервна храна за организма. Те, както и белтъците, непрекъснато се подменяват.

С помощта на радиойода беше проучена йодната обмяна на щитовидната жлеза и бяха намерени начини за ранна диагноза и лечение на заболявания от базедова болест. С помощта на радиоактивни изотопи могат да се откриват тумори в мозъка, да се определя скоростта на кръвообращението на целия организъм и в отделни органи и тъкани (фиг. 89) и да се откриват заболявания на сърцето или на кръвоносната система.



Фиг. 88. Радиоавтограф — натрупване на радиоактивен цинк в доматите

С радиоактивно желязо може да се определи скоростта на синтезирането на хемоглобина и да се открият някои смущения в кръвообразуването. Може да се проследи годността на прелятата кръв в организма в зависимост от условията на нейното съхранение.

От изследванията с „белязаните атоми" голяма помощ получи и селското стопанство. Беше намерено например, че растенията усвояват въгледвуокиса не само от въздуха чрез листата, но и от почвата чрез корените, а някои соли (суперфосфати и др.) се усвояват не само чрез корените, но и чрез листата. Това дава нови големи възможности за по-нататъшното увеличаване на добивите от селското стопанство чрез торене с въглекисели торове и разтвори и чрез извънкоренно подхранване на растенията.

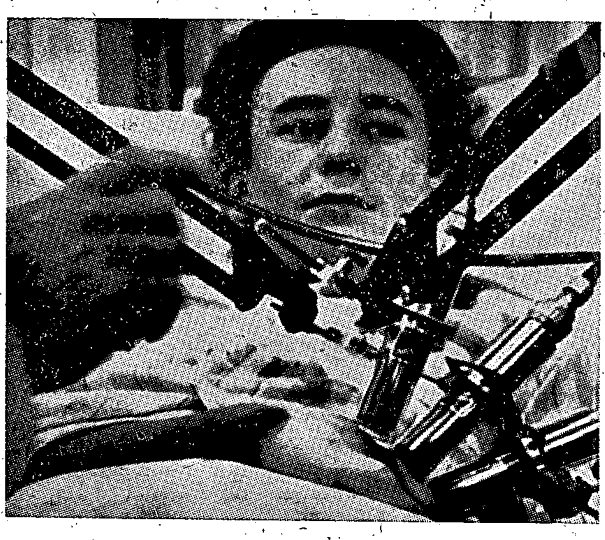
Тези нови, научно проверени методи за торене се прилагат успешно в СССР на хиляди хектари. Чрез извънкоренно подхранване с фос-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

форни торове при някои култури, като памук, захарно цвекло и др., добивът е бил увеличен до 20%.

В резултат на редица изследвания с фосфорни торове, съдържащи радиофосфор, са били изучени условията за най-рационално обработване на почвата и най-ефикасното и пълно използуване на торовете. Така например било намерено, че растенията по-добре усвояват гранулирания фосфорен тор, и то в определен стадий на своето развитие.



Фиг. 89. Изследване кръвообращението в новоприсадена тъкан с помощта на радиоактивен натрий.

Изобщо изучени и научно обосновани бяха методите на торенето. Изучена бе също така и ролята на микроелементите за развитието на селскостопанските култури.

По „метода на белязаните атоми“ е установено, че растителните сокове се движат много по-бързо, отколкото се предполагаше по-рано. Така например намерено бе, че в захарното цвекло и тиквите движението на соковете от листата към корените, които носят продуктите на асимилацията, става със скорост 70—100 см в час, а движението на хранителните вещества в дънера на дъба се извършва със скорост 5—6 метра на минута. При това бе установено, че в дъбовите гори се наблюдава срастване на корените на по 20—30 дървета в обща коренна система с общо хранене. Това явление между другото способствува за бързото разпространение на някои болести по дърветата.

Методът на белязаните атоми се прилага не само при изучаване въпросите на земеделието, но и на животновъдството. Така например намерено бе, че микродози от кобалт подпомагат образуването на някои витамини в организма на домашните животни и ги правят по-устойчиви на заболявания.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Чрез радиоактивни изотопи могат да се бележат не само отделни елементи, но и цели организми: бактерии, насекоми, риби и др. По този начин могат да се проучат пътищата за разпространение на някои инфекциозни заразни. Може да се проучи животът на някои вредители на селското стопанство (фиг. 90), да се преброят рибите в едно езеро и пр.

Чрез белязани въглеродни атоми учените са на път да разрешат и тайната на фотосинтезата. Така например установено беше, че освободеният при асимилацията кислород не се получава от разлагането на въгледвуокиса, а от разлагането (фотолизата) на водата под действието на светлината. Освен това намерено бе, че освен въглехидрати при фотосинтезата се образуват и белтъчини, като отношението на едните спрямо другите зависи от температурата и някои други въздействия. Това дава известна възможност за управляване на фотосинтезата.

Фиг. 90. Изучаване разпространяването на болести по растенията от насекоми с помощта на радиоизотопи

Най-после с белязаните атоми бяха разрешени и редица въпроси на металургията, химията и металообработването. Така например чрез добавка към вкарваните във високите пещи газове на известно количество радиева еманация бе определено точно времето на преминаването на тези газове през тях. Точното познаване на това време е от голямо значение за правилното водене на технологическия процес. Същият метод дава възможност за определяне произхода на чуждите тела, които често пъти се появяват в металната стопилка в домените пещи и я замърсяват.

С помощта на радиоизотопите може да се определи скоростта на износването на осите, лагерите и др. триещи се части на машини, да се определят смазочните свойства на едно или друго масло и пр.

С това ние далеч не сме разгледали или даже споменали всички разнообразни приложения на радиоактивните изотопи. Техният брой е извънредно голям и непрекъснато се увеличава. Но и от казаното дотук пролинава голямата помощ, която науката е в състояние да окаже на народното стопанство с използуването на атомната енергия за мирни цели.

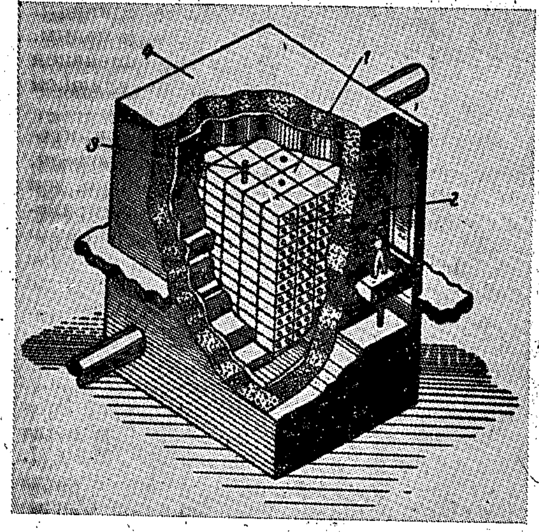
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

4. ИЗПОЛЗУВАНЕ ЕНЕРГИЯТА НА ЯДРЕНИТЕ ГОРИВА ЗА МИРНИ ЦЕЛИ

а) Ядрени реактори

Видяхме, че освобождаването на атомната енергия от ядрените горива може да се извърши мигновено под формата на атомен взрив или бавно и постепенно под формата на един контролиран верижен ядрен процес. Взривното освобождаване на атомната енергия се осъществява в атомните оръжия, а бавното — в ядрените реактори.



Фиг. 91. Схема на графитов ядрен реактор

Ядрените реактори са основното съоръжение на съвременната ядрена техника и енергетика.

Първите ядрени реактори, построени в САЩ и СССР, бяха от типа на така наречените хетерогенни ядрени реактори с графитен забавител. Те работеха с естествен уран. Принципното устройство на един ядрен реактор от този тип е много просто. Той представлява голям графитен блок, в който равномерно са разместени уранови блокове или пръчки (фиг.91). Отделените в една уранова пръчка бързи неутрони в резултат на самоволното деление на някои ядра навлизат в графита и се забавят. В резултат на това тяхната ефективност относно делението на уран 235 силно нараства, а способността им да се свързват с ядрата на уран 238 намалява. Попадайки в някоя от съседните уранови пръчки, те „предпочитат“ ядрата на уран 235, жадно се свързват с тях и предизвикват нови деления. При надминаването на определени критични размери в реактора започва постепенно засилващ се верижен ядрен процес с бавни (термични) неутрони, който ако не се ограничи, може да завърши с експлозия. За ограничаване и регулиране на реакцията се използуват регулационни пръчки от кадмий, борна стомана или боров карбид, които силно поглъщат термичните неутрони. Чрез придвижването на тези пръчки навътре и навън се регулира броят на неутроните, участвуващи в реакцията, и по този начин се поддържа мощността на реактора на едно определено ниво. Освен регулационните пръчки реакторът е снабден и с аварийни пръчки. Тяхното предназначение е да предпазят реактора от повреда,

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

когато по невнимание или някоя друга причина реакцията бъде изпусната от контрола и вземе застрашителни размери. Тези пръчки автоматично се спускат във вътрешността на реактора и спират неговото действие. Придвижването на регулационните, както и спускането на аварийните пръчки е поверено на специални автомати, които се задействуват от йонизационни камери. Те се поставят в съседство с графитния блок и се намират под действието на неутронното и гама-лъчението на реактора. Възбуденият йонизационен ток е пропорционален на мощността на реакцията. След предварително усилване той се подава на автомата, който задвижва регулационните пръчки. При повишаване на мощността над определената стойност йонизационният ток се увеличава — пръчките се спускат надолу и реакцията се забавя. При намаляване на мощността пръчките се издигат нагоре и реакцията се засилва.

По-голямата част от енергията, освободена в резултат на верижното деление на ядреното гориво, се превръща в топлина. Поради това температурата на урановите пръчки и на графитния блок бързо се покачва. За да се предпази реакторът от прегряване и повреда, трябва или непрекъснато да се охлажда, или да се намали скоростта на реакцията. Първият американски ядрен реактор бил без система за охлаждане, поради което въпреки грамадните му размери (обемът на графитния блок бил няколкостотин кубически метра) мощността му не превишавала 200—300 вата. Охлаждането на реактора се извършва с циркулиращ газ, вода или разтопен метал (натрий, калий и пр.). Охладителят поглъща топлината на реактора и я пренася в топлообменника, където в най-простия случай тя се предава на текуща студена вода. Той представлява система от тръби, по които тече студена вода. Загретият охладител, минавайки покрай тях, отдава топлината си и изстива, след което със специална помпа отново се връща в реактора и т. н., процесът се повтаря.

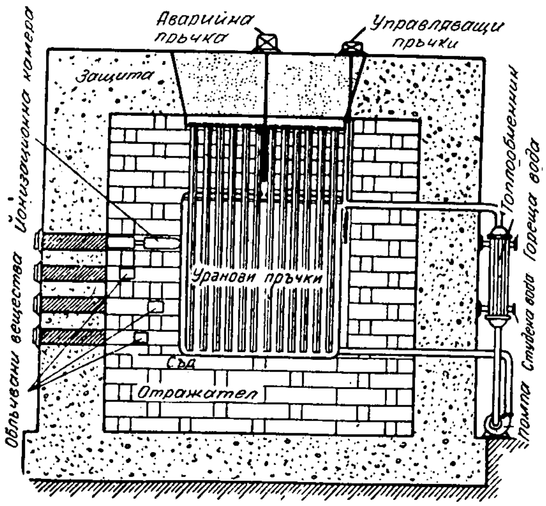
За предпазването на хората, които работят с реактора, от вредното действие на радиоактивните и неутронни лъчения той се загражда отвсякъде с 1·5—2 м дебел слой от бетон, чугун, вода и кадмий, които образуват така наречената биологична защита на реактора. Вътрешната страна на биологичната защита се облицова с един слой от графит, който служи за отражател на неутроните. В специални отвори на защитата се разполагат йонизационните камери за автоматично управление на реактора и различни обекти за изследване.

В по-ново време бяха построени ядрени реактори със забавител тежка вода. Такъв е например реакторът, построен през 1948 г. от Фредерик Жолио-Кюри във Франция (фиг. 92). Той представлява голям резервоар, пълен с тежка вода, в която се потопяват пръчки от обикновен уран. И тук както при графитовите реактори има регулиращи и аварийни пръчки, графитен отражател и биологична защита от бетон. За охладител на реактора се използва самата тежка вода, която се принуждава непрекъснато да циркулира през един топлообменник, където отдава топлината си на течащата през него студена вода. Останалите подробности се виждат от схемата на реактора.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Сега в различните страни и главно в СССР и САЩ са построени и действуват голям брой ядрени реактори (фиг. 93, 94), различаващи се по използуваното в тях ядрено гориво, по забавителя на неутроните, по охладителя и други някои особености.



Фиг. 92. Схема на ядрен реактор със забавител тежка вода

Според вида на горивото различаваме реактори с естествен, обогатен или чист уран и реактори с плутон. Според забавителя те биват графитни реактори и реактори с тежка или с обикновена вода. Последните могат да работят само с обогатено ядрено гориво. Според охладителя те се разделят на реактори с въздушно, водно или метално охлаждане. Освен това според начина на смесването на ядреното гориво със забавителя те се делят на хомогенни и хетерогенни реактори. При хомогенните реактори ядреното гориво и забавителят образуват хомогенна смес или разтвор, а при хетерогенните реактори горивото се взема под формата на пръчки, които се подреждат в забавящата среда в определен ред, какъвто беше случаят с разгледаните по-горе реактори.

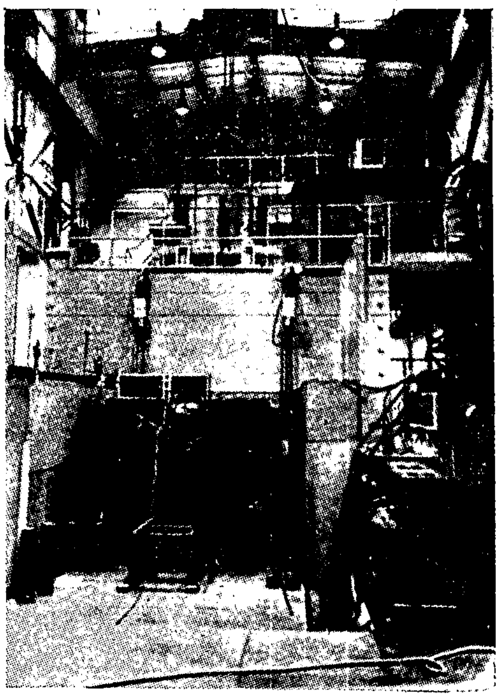
Съществуват и други класификации според скоростта на участвуващите в реакцията неутрони и според степента на възпроизвеждането на ядреното гориво, според налягането, при което работи реакторът, и пр.

С първоначално построените реактори се целеше да се провери възможността за произвеждане на верижен ядрен процес на деление и да се използуват те като опитни образци за разработката на други по-мощни и по-съвършени реактори за научно-изследователски и производствени цели. Ядрените реактори са мощни източници на не-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

утрони. С тях могат да се получават големи количества изкуствено радиоактивни изотопи, които, както видяхме, намират извънредно широко приложение в науката и практиката. Освен това те могат да служат като източници на енергия и като „заводи“ за произвеждане на ядрените горива уран 233 и плутон 239.



Фиг. 93. Общ вид на един съветски ядрен реактор

б) Използване на ядрените горива за добиване на електроенергия

Голямото количество топлина, което се отделя в ядрените реактори, може да се използува за различни промишлени цели. Така например тя може да бъде използувана за получаване на електрическа енергия, за двигателни цели, за топлофикация на селища и пр. Особено широки са понастоящем перспективите за използуване на атомните горива за получаване на електроенергия. Причината за това са, от една страна, ограничените запаси от обикновени горива (въглища, петрол и др.), с които разполага светът, и от друга страна, редицата предимства, които имат атомните електростанции пред обикновените топлоелектрически централи.

Принципното устройство на една атомна електростанция е показано на фиг. 95. Тя се състои от ядрен реактор, който е сърцето на електростанцията, парогенератор, парна турбина и генератор за електроенергия. Следователно атомната електростанция има същото устройство, както една обикновена термоелектрическа централа, с тази разлика, че пещите за обикновено гориво са заменени с ядрения реактор. Вместо топлината на въглищата тук се използува топлината, получена от ядрената енергия, освободена при разпадането на ядреното гориво в реактора.

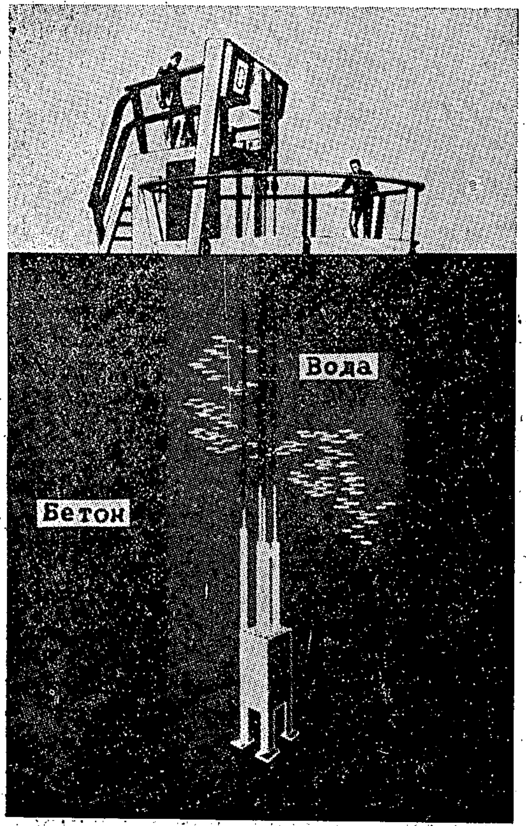
Превръщането на атомната енергия в електрическа става по следната схема. Около 81% от атомната енергия, освободена в реактора, се превръща в топлина. Охладителят поглъща тази топлина и я пренася в парогенератора, където тя се изразходва за получаване на прегрята водна пара. Водната пара се отправя в парната турбина. Там енергията

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

й се превръща в кинетична енергия на движението на самата турбина, която посредством електрическия генератор се превръща в електроенергия.

Първата в света промишлена атомна електростанция, работеща на горния принцип, беше построена в СССР (фиг. 96) и пусната в действие на 27 юни 1954 г. С това се сложи началото на атомната енергетика не само в Съветския съюз, но и в целия свят.



Фиг. 94. Схема на американския ядрен реактор, изложен на конференцията в Женева 1955 г.

Реакторът на електростанцията работи с термични неутрони. За забавител се използува графит. Охлажда се с вода под високо налягане — 100 атмосфери. Топлинната мощност на реактора е 30,000 киловата, а електрическата мощност на станцията е 5,000 киловата, което отговаря на коефициент на полезното действие около 17%. За ядрено гориво се използува уран, обогатен с 5% уран 235.

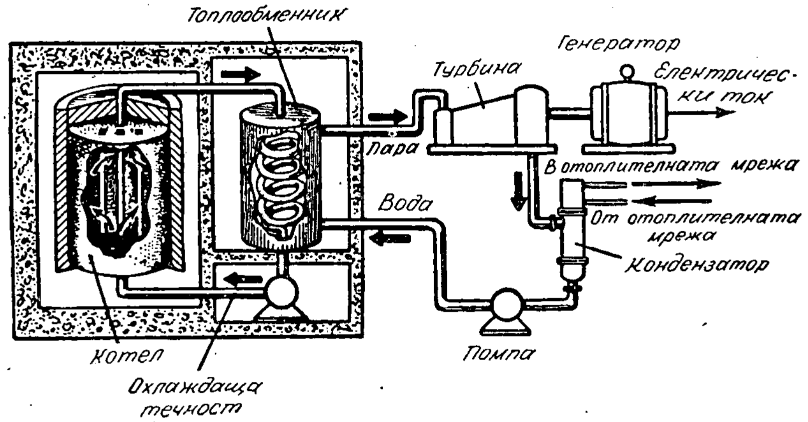
Реакторът е монтиран в херметически затворен кожух, направен от стомана, закрепен на бетонна основа. Забавителят представлява голям графитен блок, който свободно влиза в стоманения кожух. Разстоянието между него и стените на кожуха е подбрано с оглед на възможното разширяване на графитния блок от температурата и други причини. Въздухът от кожуха е изтеглен и заменен с хелий или азот, за да се избегне окислението на графита. В централната част на графитния блок са направени голям брой отвесни цилиндрични канали. По-голямата част от тях са работни канали. В тях се слагат пръчките с ядрено гориво. В останалите се поставят компенсационни, регулационни и аварийни пръчки, с помощта на които се поддържа и регулира мощността на реактора.

Пръчките, които носят ядреното гориво, са дълги 7 метра, обаче само долният им край на височина 170 см е покрит с ядрено гориво.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

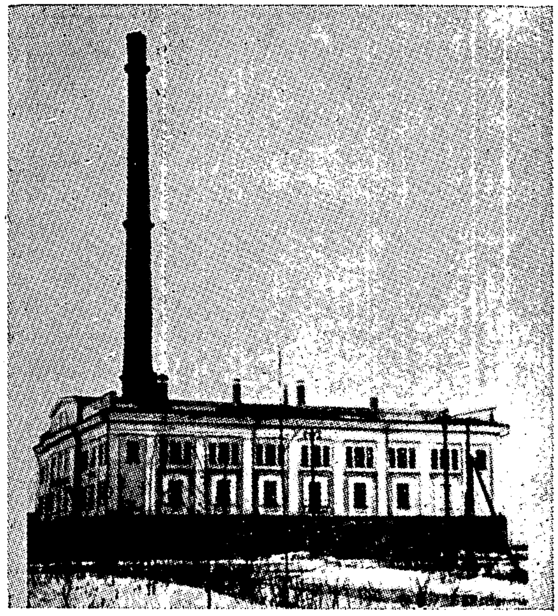
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Като се наредят в каналите, те образуват цилиндрична активна зона с диаметър 150 см и височина 170 см, около която останалият графит играе ролята на неутронен отражател. Пръчките с ядрено гориво имат



Фиг. 95. Схематично устройство на една атомна електростанция

сложно устройство. Всъщност това не са пръчки, а две тънкостенни тръби от неръждаема стомана, втикнати една в друга. По вътрешната



Фиг. 96. Общ вид на сградата на атомната електростанция на Академията на науките в СССР

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

тръба охлаждащата вода тече отгоре надолу, а след като в долния край премине във външната тръба, тече в обратна посока, като отнема топлината от урановата обложка.

В реактора има повече ядрено гориво, отколкото е нужно за протичането на верижната реакция. Така например, за да започне реакцията, достатъчни са само 60 пръчки, а техният брой е 128. Излишъкът от 68 пръчки осигурява непрекъснатата работа на електростанцията в продължение на 100 работни дни, без да става нужда да се слага ново гориво. Преди поставянето им в реактора пръчките съдържат 5% уран 235. Когато този процент падне на 4·2%, смята се, че пръчката е „изгоряла" и трябва да се смени. При сменяване на горивото работата на електростанцията се спира за известно време. Изваждането на отработеното гориво и подменяването му с ново става със специални уреди и механизми, действуващи от разстояние, понеже приближаването до „изгорелите" пръчки, които са силно радиоактивни, е опасно. След изваждането им от реактора те се поставят в специална шахта с вода, където престояват няколко месеца, докато се „поохладят", след което се отправят в завода за ново обогатяване с ядрено гориво. Управлението на крановете и наблюдението на извършваните операции става от специална, добре защитена кабина, през дебели оловни стъкла. Общото количество уран, с който се зарежда реакторът, възлиза на 550 килограма. Но при такова голямо количество уран, ако не се вземат предпазни мерки, реакцията ще протече извънредно бързо — реакторът ще експлодира. За да се избегне това, в активната му част се поставят 18 пръчки от боров карбид, които поглъщат част от неутроните и компенсират излишната реактивност, създадена от запасното „гориво". Други 4 такива пръчки са предназначени да служат за автоматично регулиране мощността на реактора, като я поддържат на определено ниво. Две от тях са действуващи и две запасни. Контролът на реакцията е поверен на йонизационни камери, които са свързани с автоматите за придвижване на пръчките нагоре-надолу, чрез което се регулира скоростта на реакцията. Отклоненията на мощността на реактора от зададената стойност не надминават 3%. Освен тези пръчки има и две аварийни, които при сигнал за авария свободно падат в реактора и спират неговото действие. Аварийни сигнали се получават в 12 различни случая, като например при превишаване на зададената мощност на реактора с 20%, при много бързо нарастване на верижната реакция, при спиране на някоя от главните циркулационни помпи, с които се движи охладителят, при изменение в разхода на охлаждащата вода в някои от работните канали и т. н.

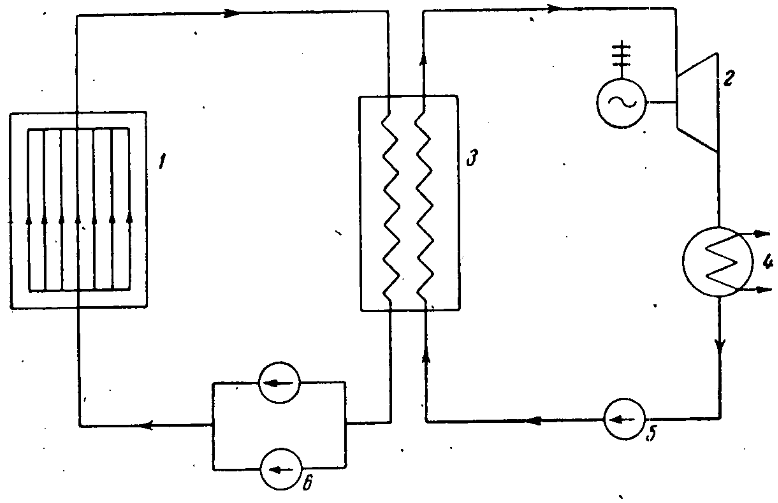
Охлаждането и пренасянето на освободената в реактора топлина до турбогенератора, където тя се превръща в електроенергия, става по една двуконтурна схема (фиг. 97). Първият контур се образува от реактора *1*, парогенератора *3* и циркулационните помпи *6*. Вторият — от парогенератора *3*, турбогенератора *2*, кондензатора и захранващата помпа *5*.

В първия контур циркулира двойно дестилирана вода под налягане 100 атмосфери, която охлажда реактора и пренася отделената в

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

него топлина до парогенератора, след което с циркулационните помпи отново се връща в реактора. В контура има всичко 4 такива помпи, от които 3 действуващи и една резервна. Водният поток, който те създават, се равнява на 300 тона вода в час.



Фиг. 97. Принципна схема на атомната електростанция в СССР

При преминаването си през работните канали на реактора охлаждащата се вода от първичния контур се загрява до 260—27С°С. Въпреки тази висока температура тя не се превръща в пара. Това се дължи на високото налягане, под което тя се намира. За да закипи, тя трябва да се загрее до 309°. С тази температура водата от първия контур постъпва в парогенератора. Там топлината ѝ се използува за получаване на прегрята водна пара, вследствие на което тя се охлажда до към 19С°С, след което се връща отново в реактора.

Във вторичния контур налягането се поддържа 12·5 атмосфери. При тези условия водата кипи при 2С°0 С. Водата от първия контур, която влиза в парогенератора с температура около 27С°С, нагрява водата от втория контур и я превръща в прегрята водна пара с температура около 260°С. Тази водна пара се отправя в турбогенератора, където енергията ѝ се превръща в електрическа. От турбогенератора отработената пара се отправя в кондензатора, където се превръща във вода. Оттам получената вода се отправя отново в парогенератора за ново изпарение.

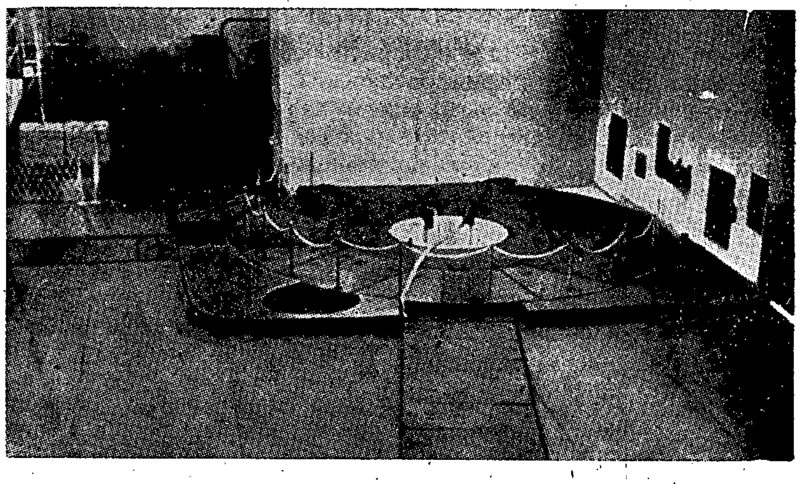
Парогенераторът се състои от три топлообменни устройства: подгревател, изпарител и паропрегревател. Всяко едно от тях е направено от множество тръби, разположени една в друга. По вътрешните тръби тече горещата вода от първичния контур, по външните по-широки тръби срещу нея текат водата и водната пара от втория контур (принцип на противотока). Водата от втория контур влизанай-напред в подгревателя. Там тя се загрява до към 19С°С. По-нататък минава в изпарителя,

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

където температурата е по-висока, и тя бързо се изпарява. Получената пара, минавайки през паропрегревателя, се прегрява до 260°C, след което се отправя към парната турбина.

Атомната електростанция има 8 такива парогенератори, свързани два по два. При включване на станцията на пълна мощност работят трите чифта, а четвъртият е резервен. Те произвеждат 40 тона водна пара в час с посочената вече температура и налягане.



Фиг. 98. Горната част на реактора на електростанцията по време на работа

Понеже водата и парата от втория контур не са в досег с радиоактивни материали и са далеч от неутронното и гама-лъчението на реактора, в него няма никаква опасност от радиоактивно заразяване. Поради това работата в турбогенераторния цех по нищо не се различава от работата в една обикновена топлоелектрическа електроцентрала.

Реакторът и първичният контур имат сигурна биологична защита от лъчението, която осигурява напълно безопасна работа на персонала. Така например реакторът е защитен отстрани с един метър вода и три метра дебел слой бетон. Отгоре биологичната защита се състои от графитен отражател на неутроните, стоманен капак и дебела чугунена плоча. Лъчението в главната зала, в която се намира реакторът (фиг. 98), е неколкократно по-слабо от максималната допустима доза на облъчване.

Радиоактивност в първичния контур се получава от облъчването на съдържащия се във водата кислород и за сметка на минималните примеси към нея. Тя обаче бързо пада. По-значително и трайно заразяване може да се получи само когато стане пробиване на някои от работните тръбички и във водата проникнат отпадъчни радиоактивни продукти на делението. Такъв случай през едногодишната експлоа-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

тация на съветската атомна електростанция (до Женевската конференция) не е наблюдаван.

Грижата за запазване здравето и живота на хората тук е на първо място. Във всички помещения на електростанцията са поставени йонизационни камери за гама-лъчи и специални устройства за измерване радиоактивността на въздуха. Когато в дадено помещение няма опасни радиоактивни лъчения, в него светят зелени лампи. Но в случай че някъде се появи лъчение или радиоактивно заразяване, надминаващи допустимата доза, веднага се запалват червени лампи, започват да звънят звънци и се изпращат съответни сигнали на командното табло, докато се вземат мерки за отстраняване на опасността.

Всички места, където може да стане отделяне на радиоактивни газове, а също така и всички зали и помещения на електростанцията се вентилират най-щателно. Засмуканият въздух се изхвърля високо в атмосферата през комина, след като се смеси с чист въздух, докато стане напълно безопасен за населението. Дежурният инженер, който стои на командното табло, има възможност със завъртането на един ключ или ръчка да провери какво е състоянието на въздуха в кое да е помещение от електростанцията.

Водата, която по един или друг начин е станала радиоактивна, се съхранява дълго време в специални резервоари, докато спадне радиоактивността ѝ под известна стойност, след което се разрежда силно с чиста вода, и след това се изхвърля навън.

За личен дозиметричен контрол работещите в електростанцията са снабдени с джобни дозиметри и фотокасетки. Случаи на преоблъчване в станцията не били наблюдавани.

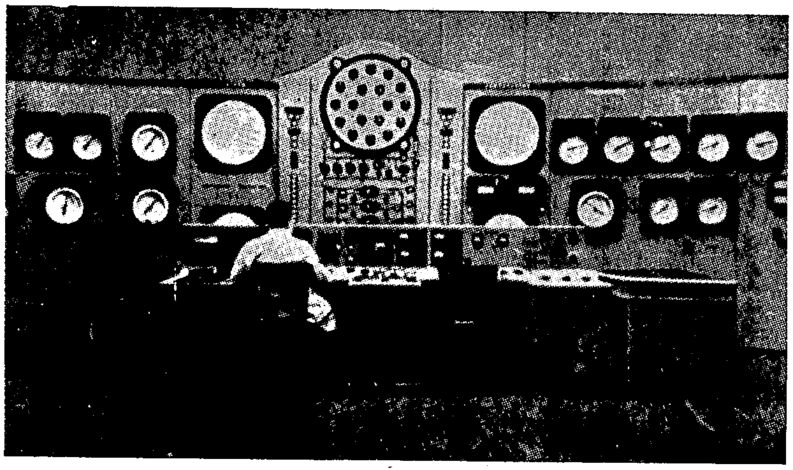
Цялата работа на атомната електростанция е напълно автоматизирана. Тя се ръководи и контролира от двама инженери, които седят на командното табло в залата за управление (фиг. 99). Високо чувствителни прибори, светещи екрани, светлинни и звукови сигнализатори показват режима на работата на електростанцията и на отделните нейни звена. На централното табло е разположена контролна апаратура за положението на регулационните пръчки. Тук може да се отчете и как върви изразходването на горивото. На специално табло върху насрещната стена светлинни сигнали възпроизвеждат цялата схема на електростанцията. Светлинните сигнали под формата на бели и жълти квадрати показват какви са отклоненията от нормалната работа на отделните елементи на реактора, а червен квадрат се появява само ако нарушението е било толкова голямо, че е предизвикало автоматическо спиране на реактора.

С едно изместване на една ръчка може да се отчетат температурата и разходът на водата във всеки един от работните канали. Отклоненията в изразходваната вода се отразяват на специално светлинно табло, на което може веднага да се види кой е този канал. На друго табло се записва и отчита температурата, налягането и разходът на пара. Всеки момент също така може да се знае как работят помпите, турбогенераторът и пр.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

На масата на дежурния инженер се намира и приборът, с помощта на който на електростанцията се задава определена мощност. Специален автомат се грижи за нейното поддържане на определеното ниво без намесата на оператора. Същевременно друг прибор, намиращ се на същата маса, показва непрекъснато мощността на реактора във всеки един момент.



Фиг. 99. Централното командно табло на атомната електростанция на СССР

Благодарение на тази висока техника управлението на електростанцията се свежда до наблюдение на приборите и измерителните инструменти. През време на едногодишната работа на атомната електростанция (до Женевската конференция) тя е произвела към 15 милиона киловатчаса енергия и не е имало нито един случай на някаква сериозна повреда. Това говори за високото ниво на съветската техника и за големите постижения на съветската наука.

Атомната електростанция на Академията на науките на Съветския съюз служи като опитна база за разработването на научните и техническите въпроси, свързани със строителството на нови по-мощни атомни електростанции в Съветския съюз за 50—100 хиляди киловата[1].

Тя играе важна роля и при подготовката на млади кадри за бъдещата ядрена енергетика.

Цената на електроенергията, добита в тази първа атомна електростанция в света, е сравнима с цената на малките топлоелектрически централи с мощност 1000—5000 киловата и с тази на големите топло-

[1] Според директивата на XX конгрес на КПСС до края на шестата петилетка в Съветския съюз ще бъдат построени няколко десетки атомни електростанции от различен тип с обща електрическа мощност 2·5 милиона киловата.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

електрически централи, които са отдалечени от суровинните източници и работят с ниско калорично гориво. Пресмятанията показват, че цената на електроенергията, добита от мощните атомни електростанции, както тези, проектирани в Съветския съюз, ще бъде сравнима, макар и малко по-висока от тази, получена в топлоелектрическите централи със същата мощност. Счита се, че една 100 хиляди киловатова атомна електростанция ще достави електроенергия, която ще струва 10—20 копейки на киловатчас, когато енергията, доставена от големите модерни топлоелектрически централи на СССР, струва 10 копейки на киловатчас.

При тази сравнима, почти еднаква цена на доставяната електроенергия атомните електростанции имат редица предимства пред обикновените термоелектрически централи дори сега, когато са още в самото начало на своето развитие. Така например, ако се сравнят една атомна и една обикновена термоелектрическа централа с мощности 100 хиляди киловата, вижда се, че теглото на машините без турбините и електрогенератора за атомната електростанция е 4 пъти по-малко. Обемът ѝ е $^{2}/_{3}$ от обема на обикновената електростанция. Разходът на електроенергия за собствени нужди при атомната електростанция е близо два пъти по-малък. Атомната електростанция е по-прибрана. Обслужването ѝ е по-просто и се извършва от два пъти по-малко персонал. Капиталовложенията в една атомна електростанция са малко по-големи от тези в топлоелектрическите централи, но поради по-малките експлоатационни разходи те бързо се рентират.

Атомната електростанция консумира извънредно малко количество „гориво", например съветската атомна електростанция консумира едва 30 грама уран 235 на денонощие, когато ако работеше с обикновено гориво, за същото време тя би консумирала 100 тона въглища. Това количество ще се намали още повече, ако се увеличи коефициентът на полезното действие, което по принцип е възможно.

При „горенето" на атомното гориво не се отделят дим и пепел (фиг. 100). Поради това при атомните електростанции проблемът за подвоза на горивото и извозването на пепелта, която при термоелектрическите централи създава големи грижи, отпада. Липсата на въглища и пепел дава възможност за поддържане на голяма чистота в района на атомната електростанция и вътре в нея и за по-добра хигиена на труда. Ядреното гориво не се нуждае от кислород. Това позволява атомните електростанции да се строят под земята. По такъв начин по-лесно се решава и въпросът за предпазването от радиоактивното лъчение.

Друго едно предимство на атомните електростанции е това, че освен електрическа енергия в тях непрекъснато се произвежда и ядрено гориво. В така наречените „реактори със засилено възпроизвеждане на горивото" или „размножаващи реактори" произведеното ядрено гориво може да бъде даже до 1·5 пъти повече от изразходваното. То се дължи на това, че от освободените неутрони при едно деление един отива за поддържане на верижното деление, а останалите 1—2 неутрона се поглъщат от уран 238 и го превръщат в плутон. Следователно при известни условия на всеки разпаднал се атом на уран ще съответствува появата на 1—2 ато-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

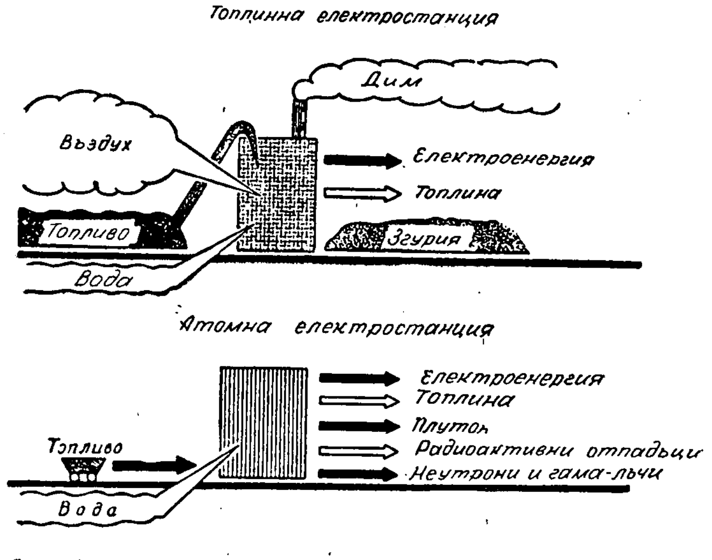
Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ма плутон. Полученият плутон следователно ще бъде $1^1/_2$ пъти повече от изразходваното ядрено гориво.

Размножаващите реактори работят с бързи неутрони. В центъра на тези реактори се поставят уранови пръчки, обогатени с 20—50% уран 235, а по периферията се нареждат блокове от уран 238 или торий 232. В средата на реактора става интензивно разпадане на уран 235, а в периферията под действието на неутроните от уран 238 и торий 232 се получават горивата плутон 239 и уран 233. Следователно един размножаващ ядрен реактор е не само източник на атомна енергия, но и „фабрика" за произвеждане на ядрено гориво.

Ако се построят голям брой такива „фабрики", всичкият уран и торий ще могат след предварителното им превръщане в плутон и уран 233 да се употребят за добиване на атомна енергия. С това запасите от ядрени горива в света ще се увеличат стотици пъти. Електроенергията, добивана от такива размножаващи реактори, ще струва няколко пъти по-евтино.

От докладите, изнесени на Женевската конференция за мирното използване на атомната енергия през август 1955 г., стана ясно, че освен в СССР и в редица капиталистически страни, като Англия, Франция, Канада и др., се пристъпва към проектиране и строеж на атомни електростанции. Атомната енергетика скоро ще заеме важно място в стопанския живот на света. Атомната енергия ще предизвика нов подем в производството и ще окаже своето благотворно влияние върху икономическото и културно развитие на народите.



Фиг. 100. Сравнение между топлинна и атомна електростанция

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

в) Използуване на атомната енергия в транспорта

Извънредно високата енергетична концентрация на ядреното гориво буди много големи надежди относно възможността за използуването му в транспорта. Така например един авиационен двигател с мощност 6000 конски сили при коефициент на полезно действие 20% при едночасова работа би изразходвал само един грам ядрено гориво. Това означава, че за прелитането от София до Москва един атомен самолет ще изразходва само десетина грама ядрено гориво. С него ще може да се обиколи земята няколко десетки пъти, без да се взема ново гориво, тъй като за една обиколка на земята той ще изразходва само няколкостотин грама ядрено гориво.

Един параход с атомен двигател също ще може да направи не едно околосветско пътуване, без да попълва своите запаси от гориво. С подводница, снабдена с атомен двигател, може да се плува месеци наред под водата или под ледовете на полярните морета, без да става нужда да се излиза на повърхността.

Използуването на атомното гориво в транспортните средства може да доведе до увеличаване не само на радиуса на тяхното действие, но и на скоростта на движението им. Засега обаче приложението на атомната енергия в тази област остава твърде ограничено. То се спъва от наличността на опасните за живота на хората радиоактивни и неутронни лъчения, които придружават разпадането на ядреното гориво. За предпазването от тези лъчения, както видяхме, се използуват много дебели и тежки бетонни и железни прегради, които биха представлявали голям допълнителен мъртъв товар за транспортните средства. Въпреки това, като се има предвид, че атомният двигател изразходва много малко гориво, не изисква кислород, не отделя дим и пепел, може да се разбере, че в някои специални случаи, като например в подводниците, ракетите, телеуправляемите самолети и пр., той може да бъде предпочетен и при сегашните начини за защита.

Има сведения, че американците усилено разработват въпроса за използуване на атомните двигатели в подводниците и военния флот. Вече се съобщава за пускането на подводницата „Наутилус“, която се движи с ядрен реактор, в пробна експлоатация. През настоящата шеста петилетка в Съветския съюз ще бъде построен ледоразбивач с атомен двигател.

Ако се намерят начини за ефикасна биологична защита от по-леки материали или друг някакъв начин за премахване на опасността от лъчението, които да не са свързани с увеличаване теглото на атомния двигател, атомната енергия ще намери извънредно широко приложение и в обикновения граждански транспорт.

Учените не се спират пред трудности. Съществуват редица проекти за конструирането на влакове, автомобили, самолети и пр., движени с атомни реактори или специални двигатели за ядрено гориво. Търсят се всевъзможни начини за заобикаляне или отстраняване на съществуващите технически трудности. Така например съществува един проект

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

за построяването на атомен самолет с много удължена форма. Ако атомният реактор се постави в опашката на самолета и дължината му е около 50 метра, радиоактивното лъчение ще отслабне около 500 пъти и това ще намали теглото на защитата до 2—2·5 тона на квадратен метър. При това тя може да се сведе само до една преградна стена между реактора и пасажерската кабина. Страничната защита може да се изостави. За да се избегне облъчването на обслужващия персонал от летищата, предлага се при кацането на самолета той да спира на определено място на летището, където реакторът се спуска автоматично в специална яма или шахта, изкопана в земята.

Големи перспективи открива използването на ядрено гориво пред ракетната техника и междупланетното летене. С нея ще могат да се конструират ракети, които ще могат не само да достигнат която и да било точка от земната повърхнина, но и да се откъснат от нея и да полетят в междупланетното пространство. Досега пречка за осъществяване на междупланетен полет беше липсата на гориво, което да може да придаде достатъчна скорост на излитащите от тръбата на ракетата газове, която е нужна за преодоляването на земното привличане. Тази критична скорост е около 11 километра в секунда, което отговаря на температура на газовете 5 — 6 хиляди градуса. С освобождаването на атомната енергия по принцип този въпрос може да се счита за разрешен, защото съвсем лесно могат да се получат и много по-високи температури. Тук обаче се натъкваме на други трудности, като например намиране на достатъчно издръжливи мъчнотопими материали, от които да се изработят камерата за изгаряне на ядреното гориво и тръбата за изхвърляне на газовете, въпроса за доброто охлаждане на ракетата и т. н. Тези трудности обаче са от техническо, а не от принципно естество. Тяхното преодоляване е въпрос на близкото бъдеще. Вече сериозно се говори за пускането след 1—2 години по случай международната геофизична година[1] на изкуствен спътник на земята. Това показва, че работата по разрешаването на този въпрос вероятно е напреднала доста много.

Ако със силата на огъня, чието откриване е станало преди много хиляди години — в незапомнените предисторически времена, човекът успя да покори земята, можем смело да твърдим, че с помощта на атомната енергия той ще покори и небето.

Атомните експлозиви също могат да се използуват за мирни цели. С тях могат да се вдигат във въздуха цели планини и по този начин да се ускорят извънредно много големите хидротехнически строежи, прокопаването на канали и пътища, да се разкриват дълбоки залежи от природни богатства за надземното им експлоатиране и пр.

Мирното използуване на атомната енергия ще позволи да се променя климатът на цели области от земната повърхност, пустините да се превърнат в цветущи градини.

---

[1] Предстоящата международна геофизична година ще трае от юли 1957 до декември 1958 год.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

5. ЗАПЛАХАТА ОТ АТОМНА ВОЙНА И БОРБАТА НА НАРОДИТЕ ЗА МИР И ЗАБРАНА НА АТОМНОТО ОРЪЖИЕ

Велико е откритието на учените от нашия век за използуването на ядрената (атомната) енергия. По волята на войнолюбците обаче вместо за благото на човечеството най-напред тя бе употребена като оръжие за масово унищожение на хората. Народите посрещнаха новината за пускането на първите атомни бомби и унищожението на хилядите невинни и беззащитни жертви с голямо огорчение и отправиха проклятие към тези, които бяха дали заповед за това. Потривайки лукаво ръце, подпалвачите на война обаче останаха много доволни от постигнатите резултати и сметнаха, че веднаж завинаги са намерили средства да дирижират съдбините на света и да държат в подчинение народите.

За да притъпят бдителността на народите и прикрият своите пъклени планове за трета световна война, някои западни военни специалисти започнаха да възхваляват атомното оръжие като гаранция „за запазването на мира". Според твърденията на английския маршал от авиацията Слеслер атомните и водородните бомби създадоха „надежда за мир", а английският вестник „Обзървър" съобщава на всеуслишание, че „днес вероятността за война е по-малка, отколкото през по-голямата част от десетте години, изтекли след миналата война".

Подобни ходове обаче се оказаха много плитко скроени. Изживели ужасите на две световни войни и особено на последната, народите от цял свят достигнаха такова равнище на съзнателност, че трудно могат да бъдат излъгани. Тяхната бдителност и прозорливост са толкова големи, че те вече могат правилно да оценяват всеки ход на подпалвачите на войни и решително се противопоставят на опитите на агресорите да хвърлят света в невиждано унищожение.

Сега и за най-обикновения трудещ се е ясно като бял ден, че атомното оръжие в ръцете на милитаристите, военните авантюристи и техните господари империалистите е реална заплаха за мира и сигурността на народите.

Достатъчно е само човек да проследи тяхното становище и отношението им към атомното оръжие, за да се увери в горното.

Въпреки демагогските приказки на някои западноевропейски среди и САЩ за забрана на атомното и водородното оръжие те на практика разширяват неговото производство и все повече и повече го внедряват на въоръжение в своите армии.

През м. януари м. г. министърът на отбраната на САЩ направи доклад пред комисията по въпросите за въоръжените сили и между другото заяви, че във военната програма на САЩ за 1956 бюджетна година се набляга специално на използуването на атомната енергия във военните действия. Недавна генерал Грюнтер, върховен главнокомандуващ на силите на НАТО в Европа, пред кореспондента на американския в. „Пост Диспеч" каза: „Ние решихме, че нашата страте-

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

гия в „центъра“ налага да използуваме атомното оръжие независимо от това, дали противникът ще го употреби, или не.“

Все в този дух председателят на обединената група на началник щабовете на НАТО адмирал Артур Родфорд в изявленията си пред комисията по въпросите за въоръжените сили наблегна, че „САЩ сега са навлезли в такъв етап, когато атомното оръжие е станало обикновено оръжие и неговото използуване е напълно предвидено в нашата стратегия и тактика“.

Всички тези положения говорят ясно, че вместо да насочат своите усилия към използуването на ядрената енергия за мирни цели, западните сили и преди всичко САЩ на първо място се занимават с въпроса, как атомното оръжие да се използува като обикновено оръжие. Това обстоятелство не може да не тревожи привържениците на мира и не може да остане незначителен факт. На свой ред и правителството на Англия взе решение да започне производството на атомно оръжие.

За жалост на Запад не само военните среди, но наред с тях и висшите слоеве на управляващите кръгове открито поддържат политиката на увеличаване на въоръженията и запасите от атомно оръжие и приемат неговата употреба в бъдещата война като нещо обикновено.

Възхвалявайки на първи март м. г. в камарата на общините решението на правителството на Англия да произвежда водородно оръжие, Чърчил заяви между другото, че „би било глупаво да се предполага“, че водородното оръжие няма да бъде пуснато в ход в случай на война. Не закъсня да се прояви и водачът на „опозицията“ в Англия, Атли, който, говорейки на 4 март 1955 г. в Оксфорд, е изразил мнение, че Англия „трябва да бъде готова“ да използува атомното оръжие.

Че наистина редица западноевропейски правителства открито одобряват курса към нова, атомна война, показва мнението, дадено от министър-председателя на Белгия, Спаак, който пред представителите на буржоазния печат заяви, че решенията, взети в навечерието на сесията на североатлантическия блок, „дават на военните именно това, което им е необходимо. Те искаха разрешение да се готвят за атомна война. Това разрешение им е дадено“.

Още по-опасна става заплахата от една атомна война от обстоятелството, че в ръцете на бонската реваншистка армия се даде атомно оръжие. Една от задачите на парижките споразумения между западните държави и САЩ беше въоръжаването на Западна Германия и подготовката ѝ за война.

Освен това западните сили още в 1951 година разрешиха официално на Аденауер да прави проучвания в областта на ядрената физика. По-специално на западногерманските учени беше разрешено да правят опити в областта на отделянето на изотопите на урана, което представлява един от начините за добиване атомен експлозив за производството на атомни бомби.

Работите в областта на атомната енергия взеха много скоро широк размах. В планините Фихтелгебирге и Шварцвалд се организира добиването на уранова руда. Така още в 1953 год. производството на уран в Западна Германия достигна девет тона годишно.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Едновременно с това правителството на Аденауер предприе редица мерки за разширяване на своите атомни проучвания. През пролетта на 1954 г. Западна Германия беше присъединена към така наречената „Европейска организация за проучване на атомното ядро“ със седалище Женева. Участието в тази организация даде възможност на германските атомици да се запознаят с редица постижения и да маскират собствените си проучвания.

Постепенно проучванията на атомните въпроси в Западна Германия надминаха далеч равнището на проучванията от този род на другите западни страни. За късо време израснаха редица атомни лаборатории и редакторът на външния отдел на английското списание „Сънди експрес“ Колвин, който посети през пролетта на 1955 г. лабораториите, констатира, че Западна Германия пристъпва към осъществяването на широка програма за работа в областта на атомната енергия.

Все повече и повече Западна Германия се обръща на атомен полигон. Това обаче става със съгласието на САЩ, които всестранно финансират всички начинания в това отношение. В посоченото по-горе съобщение на Колвин се казва, че Америка снабдява германските университети и институти с най-модерни научни съоръжения. Цялата подготовка на Западна Германия по използуването на атомното оръжие се върши под маската на използуването на атомната енергия за „граждански цели“. Тези маневри обаче вече не се и прикриват.

Знае се, че в различни райони на Западна Германия американските войски редовно водят занятия с „употребата“ на атомно оръжие. На опитите с атомно оръжие присъствуват редовно и американски генерали и офицери. Неотдавна агенция „Юнайтедпрес“ съобщи, че Теодор Бланк, ръководителят на военното министерство на Аденауер, се е обърнал официално с молба „германските войници да се запознаят по-подробно с американското атомно оръжие“. Бившият командуващ американските въоръжени сили в Европа генерал Чарлз Болт заяви направо, че „бъдещата западногерманска армия трябва да бъде обучена по методите за водене на атомна война“. Сега по този въпрос усилено се работи в Западна Германия. Нещо повече, западногерманските милитаристи искат да имат свое атомно оръжие. А през пролетта на м. г. бившият началник щаба на фелдмаршал Рундщет генерал Цимерман поиска открито да се използува атомното оръжие в бъдещата война.

В светлината на тези факти англичаните, които опитаха „сладостта“ на V_1 и V_2 през последната война, основателно са разтревожени. След съобщението на Идън в камарата на общините по повод писмото на Аденауер, че Западна Германия разполага с атомен реактор, по страниците на лондонските вестници се появиха тревожни заглавия: „Членовете на парламента са обезпокоени. . .“, „Германците могат да имат атомно оръжие“ и др., а в камарата на общините Беван заяви: „Нима английският народ ще се почувствува в по-голяма безопасност при заплаха от възникване на война, ако германските армии под командуването на нацистки офицери имат атомни бомби?“

Ратифицирането на лондонските и парижките споразумения за въоръжаването на Западна Германия се преоцени от народите като засилване

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

опасността от опустошителна атомна война. Затова в речта си, произнесена на сесията на Световния съвет на мира в Стокхолм, секретарят на Всеобщата конфедерация на труда във Франция Ален льо Леан заяви напълно основателно: „В епохата на атомните бомби, ако на Западна Германия бъде дадена възможност да има тази бомба, ще се касае за живота и смъртта на нашия народ. Тази опасност застрашава еднакво и всички други европейски народи."

И наистина въпреки големите усилия на Съветския съюз и всички миролюбиви сили да се уреди час по-скоро обединението на Германия и с това да се гарантира мирът бонските реваншисти не са се отказали да наливат масло в огъня на войната. Те не се свенят да говорят за война дори тогава, когато министрите на външните работи на четирите велики сили се стремяха да разрешат европейските проблеми чрез преговори, а не чрез война. Ето какво пише мюнхенският вестник „Мюнхернахткурир" от 31. X. 1955 г.: „Най-важната задача за западната дипломация е да принуди Съветския съюз да отстъпи оттатък границата Одер—Ниса. Не успеем ли в това и изгубят ли един ден западногерманците търпението, ще бъде неизбежна тогава една световна война без или с атомно оръжие." И статията завършва, че не е правилно да се погребе „политиката на силата", тъй като тя била единствено приложима спрямо Съветския съюз.

Ясно е от всички приведени факти, че въпреки привидната политика за мир на западните държави все още съществува реална опасност от война, която се подсилва от обстоятелството, че атомната мания е обхванала най-големите войнолюбци и авантюристи. Това обстоятелство се имаше предвид от народите и затова още с избухването на първата атомна бомба започна борбата за предотвратяване на трета световна война и забрана на атомното и другите оръжия за масово унищожение. Благодарение на неотстъпчивостта на миролюбивите сили направена е решителна крачка по пътя на отхвърляне на войната и разрешаването на спорните въпроси чрез преговори.

Начело на тази трудна и отговорна задача застана Съветският съюз. Макар да притежава атомното оръжие, той неуморно се бори за разобличаване плановете на подпалвачите на нова война и твърдо застана на позицията за намаляване въоръженията и безусловна забрана на атомното оръжие. Още на 10 ноември 1949 год. в речта си пред специалния политически комитет при Общото събрание на ООН Вишински заяви: „Ние в Съветския съюз използуваме атомната енергия не за да натрупваме запаси от атомни бомби. Макар че аз съм убеден, че когато — ако за нещастие това се случи — те потрябват, ние ще ги имаме толкова, колкото ни са необходими. Ние използуваме атомната енергия според нашите стопански планове за нашите икономически и стопански интереси, за да изпълним великите задачи на мирното строителство." Разкривайки негодността на американския план за контрол на атомното производство и разобличавайки опитите да се прикрие истинската насока на атомното производство в САЩ, Вишински заяви, че забраната на атомното оръжие е неразделна част от програмата за мир, която Съветският съюз води и защищава.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Подетата инициатива от Съветския съюз за укрепването на мира и забраната на атомното оръжие беше подкрепена не само от народите на социалистическия лагер, но и от всички трезви хора и трудещи се от западните държави. Не може да бъде и другояче, защото политиката на мир е в пълно съответствие с жизнените интереси на народите, които са отвратени от войната и жадуват да живеят в мир и разбирателство. Политическата съзнателност на народите вече им позволява настойчиво да се борят за утрешния светъл ден.

Резултатите не закъсняха. Под натиска на общественото мнение в САЩ и другите капиталистически страни беше прието предложението за сключване на примирие в Корея, а агресорите не се решиха да употребят там атомна бомба.

Постигането на мир в Корея и разрешаването на редица спорни въпроси в Индокитай чрез преговори между великите сили и представителите на заинтересованите страни бе убедително доказателство за схващането на Съветското правителство, че няма такива спорни въпроси, които да не могат да се разрешат по мирен начин, чрез преговори.

Тези първи значителни успехи на силите на мира накараха да се стреснат подпалвачите на нова война и окуражиха народите в борбата им за укрепване на мира. Стана ясно, че колкото по-настойчиво се води тази борба, толкова по-близки са условията за окончателното уреждане на спорните въпроси между народите.

Ето защо под „Обръщението на Световния съвет на мира" за забрана на атомното оръжие с небивал ентусиазъм сложиха подписите си стотици милиони хора от най-различни народности, независимо от своите политически убеждения, професия, пол и възраст. Народите все повече и повече подкрепят подетата инициатива от Съветския съюз за забрана на атомното и другите оръжия за масово унищожение и укрепването на мира.

Връхна точка на усилията на миролюбивите сили беше срещата на ръководителите на правителствата на Съветския съюз, САЩ, Англия и Франция през месец юли 1955 година в Женева. Там на принципа на взаимното зачитане и благодарение на желанието за мирно уреждане на спорните въпроси за пръв път от края на Втората световна война се стигна до принципно разбирателство и се отвори вратата за успешното разрешаване на световните проблеми. Народите с облекчение въздъхнаха, защото техните усилия не отидоха напразно. Международното напрежение, което беше създадено от заплахата от нова война, значително спадна и проблеснаха перспективи за по-дълготраен мир.

Авантюристите, които не пропускаха случай да разпалват страстите за нова война, видяха, че все повече и повече срещу тях се изправя мощната стена, създадена от волята на народите да живеят в мир. Те разбраха, че не може с няколко стотици атомни бомби да се наложи волята на империалистите. Те вече ясно виждат, че атомната бомба не е по-силна от волята на народите да живеят в мир.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Вярно на своята политика за намаляване на международното напрежение и изпълнявайки повелята за намаляване на въоръжените сили, Съветското правителство взе решение до края на 1955 г. да намали своята армия с 640,000 души[1] и да ликвидира с военните си бази на чужда територия. Този акт на миролюбие беше последван от страните с народна демокрация. На дело бе доказано, че държавите от социалистическия лагер не на книга, а на практика правят всичко възможно за укрепване на мира.

Сега вече е ред на западните държави, които под натиска на своите народи не могат да изберат друг път.

Значителна победа на силите на мира е международната конференция в Женева за обмяна на опит по използуване на атомната енергия за мирни цели. Там Съветският съюз изяви своята готовност да окаже помощ на другите народи за впрягане на атомната енергия в услуга на човечеството. От друга страна, агресорите разбраха, че действително Съветският съюз е овладял в големи мащаби производството на ядрената енергия и той действително може да даде заслужен отговор на всяка авантюра.

Посещението на канцлера Аденауер в Москва през месец септември 1955 година и установяването на дипломатически връзки между Съветския съюз и германската федеративна република не е случайно събитие. То стана по настояване на Съветското правителство и под натиска на германския народ, който не иска да бъде повече пушечно месо в една трета световна война. Всички миролюбиви сили приветствуваха тази нова крачка по пътя на мирното уреждане на спорните въпроси.

Макар атомното оръжие да влезе на въоръжение почти във всички армии и тъмните сили на войната да не пропускат повод за поддържане на „студената война", с всеки изминат ден все по-ясно става, че са налице условията за отстраняване заплахата от трета световна война. Народите се увериха, че подетата борба за запазване на мира не е празна илюзия, мечта, а реална възможност. Затова е необходимо обаче непрекъсната бдителност, разобличаване опитите за разпалване страстите към нова война и безрезервна подкрепа на всяко начинание по пътя на мирното съжителство между народите.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В резултат на упорита полувековна работа на учените от целия свят над атома и атомното ядро науката успя да завоюва една от най-крупните си победи — овладяна бе атомната енергия. Това велико откритие на човешкия гений, което ако бъде използувано само за благото на хората, ще предизвика истинска културна революция, бе ознаменувано с две ужасни експлозии. По вина на някои военни и политически среди човечеството навлезе в атом-

[1] В декларацията си от 14 май 1956 г. по въпроса за разоръжаването Съветското правителство съобщи, че намалява въоръжените си сили с още 1,200,000 души.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ната ера през труповете на десетки хиляди невинни японски граждани и през разрушенията на Хирошима и Нагазаки. На международната сцена се появи атомното оръжие. Днес то е на въоръжение във всички съвременни армии. Като се има предвид неговата огромна поразяваща мощ и възможността за масовата му употреба, трябва да се очаква, че жертвите на една бъдеща атомна война ще бъдат вече не десетки милиони както през последните световни войни, а стотици милиони, Разрушенията ще обхващат вече не отделни градове, а цели страни. Сериозни щети ще бъдат нанесени на човешката култура и цивилизация Човечеството ще се върне назад в своето културно развитие с десетки, а може би и стотици години. Това особено добре бе изразено от известния физик Айнщайн. Когато го запитали какво е неговото мнение за бъдещата трета световна война, той духовито отговорил: „Четвъртата световна война ще се води с копия и лъкове."

Погрешно е обаче мнението, че атомното оръжие е всесилно и че няма абсолютно никаква защита от него. При съвременните постижения на техниката след обстойното проучване на действието на атомните оръжия бяха намерени редица способи и средства за противоатомна защита на войските и населението. При правилна организация на тази защита жертвите и щетите от атомните нападения могат да бъдат значително намалени.

Атомното оръжие при положение, че се притежава от двете воюващи страни, не дава предимство на нито една от тях в извоюването на победата. То може само да увеличи жертвите и разрушенията, но не може да замени войника и не измества напълно останалите видове оръжия. Само съвместните усилия на всичките съвременни родове войски могат да решат изхода на войната. Употребата на атомното оръжие ще увеличи бедствието на народите и на двете воюващи страни. Като се има предвид, че ако избухне една атомна война, тя лесно може да обхване целия свят, става ясно, че ще пострадат всички народи на земята. Даже ако някоя страна остане извън конфликта, разнасящият се от ветровете радиоактивен прах, който се получава при атомните експлозии, застрашава и нейното население. Ето защо дълг на всички честни хора по земята е да се борят активно против войната, за всеобщо разоръжаване и безусловна забрана на атомното оръжие. Това ще бъде същевременно и най-ефикасната „противоатомна защита".

Разпространяваната в някои западни страни теза, че голямата поразяваща сила на атомното и особено на водородното оръжие правела войната невъзможна, е погрешна. Тя води до притъпяване на бдителността на народите, до отслабване на борбата за мир и забрана на производството и употребата на атомното оръжие. Тази теза способствува за засилване на надпреварването във въоръжението и за увеличаване на запасите от атомно оръжие. Наистина, ако действително това оръжие прави войната невъзможна, логично следва, че по-големите запаси от такова оръжие са по-голяма гаранция за мира. Това обаче е явно погрешно. Безспорен исторически факт е, че всяко натрупване на големи запаси от оръжия независимо от това, каква е била тяхната разрушителна сила, е довеждало до война. Натрупването на голямо

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

количество атомни и водородни бомби би подхранвало атомната грандомания и авантюризма в световната политика, които могат да се окажат гибелни за човечеството.

Не чрез увеличаване запасите от атомни оръжия, а само чрез тяхното унищожаване, чрез пълната забрана на тези оръжия ще се укрепи мирът и човечеството ще се освободи от кошмара на атомната война.

Забраната на атомното оръжие ще засили взаимното доверие между народите, така необходимо за разрешаване на спорните международни въпроси по мирен път и за мирното съвместно съществуване на държавите с различни стопански системи. Само ако атомните оръжия бъдат забранени и унищожени, ще може да се изгради пълно и истинско сътрудничество между учените от целия свят при изучаване на атомното ядро. Това безспорно ще се отрази благоприятно на научния и техническия прогрес. Под обединените усилия на учените от целия свят атомът по-лесно ще предаде своите тайни. Неговата огромна и неизчерпаема енергия по-бързо ще бъде впрегната да работи за благото на хората.

Ние сме склонни да вярваме, че здравият разум в международните отношения ще победи. Човечеството ще предпочете своето благоденствие и мирния, щастлив живот пред ужасите на една атомна война.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ПЕРИОДИЧНА СИСТЕМА НА ЕЛЕМЕНТИТЕ ОТ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВ

Периоди	Редове	Групи на елементите: I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			O
1	I	H 1 Водород 1,0080						(H)				He 2 Хелий 4,003
2	II	Li 3 Литий 6,940	Be 4 Берилий 9,013	5 B Бор 10,82	6 C Въглерод 12,010	7 N Азот 14,008	8 O Кислород 16,0000	9 F Флуор 19,00				Ne 10 Неон 20,183
3	III	Na 11 Натрий 22,997	Mg 12 Магнезий 24,32	13 Al Алуминий 28,97	14 Si Силиций 28,06	15 P Фосфор 30,98	16 S Сяра 32,066	17 Cl Хлор 35,457				Ar 18 Аргон 39,944
4	IV	K 19 Калий 39,096	Ca 20 Калций 40,08	Sc 21 Скандий 45,10	Ti 22 Титан 47,90	V 23 Ванадий 50,95	Cr 24 Хром 52,01	Mn 25 Манган 54,93	Fe 26 Желязо 55,85	Co 27 Кобалт 58,94	Ni 28 Никел 58,69	
	V	29 Cu Мед 63,57	30 Zn Цинк 65,38	31 Ga Галий 69,72	32 Ge Германий 72,60	33 As Арсен 74,91	34 Se Селен 78,96	35 Br Бром 79,916				Kr 36 Криптон 83,7
5	VI	Rb 37 Рубидий 85,48	Sr 38 Стронций 87,63	Y 39 Итрий 88,92	Zr 40 Цирконий 91,22	Nb 41 Ниобий 92,91	Mo 42 Молибден 95,95	Tc 43 Технеций (99)	Ru 44 Рутений 101,7	Rh 45 Родий 102,91	Pd 46 Паладий 106,7	
	VII	47 Ag Сребро 107,88	48 Cd Кадмий 112,41	49 In Индий 114,76	50 Sn Калай 118,70	51 Sb Антимон 121,76	52 Te Телур 127,61	53 J Йод 126,92				Xe 54 Ксенон 131,3
6	VIII	Cs 55 Цезий 132,91	Ba 56 Барий 137,36	La 57* Лантан 138,92	Hf 72 Хафний 178,6	Ta 73 Тантал 180,88	W 74 Волфрам 183,92	Re 75 Рений 186,31	Os 76 Осмий 190,2	Ir 77 Иридий 193,1	Pt 78 Платина 195,23	
	IX	79 Au Злато 197,2	80 Hg Живак 200,61	81 Tl Талий 204,39	82 Pb Олово 207,21	83 Bi Бисмут 209,00	84 Po Полоний (210)	85 At Астатин (210)				Rn 86 Радон 222
7	X	Fr 87 Франций (223)	Ra 89 Радий 226,05	Ac 88 Актиний (227)	Th 90 Торий 232,12	Pa 91 Протактиний 231	U** 92 Уран 238,07					

* 58-71 Лантанади:														
	Ce 58 Церий 140,13	Pr 59 Празеодим 140,92	Nd 60 Неодим 144,27	Pm 61 Прометий (147)	Sm 62 Самарий 150,43	Eu 63 Европий 152,0	Gd 64 Гадолиний 156,2	Tb 65 Тербий 159,2	Dy 66 Диспрозий 162,46	Ho 67 Холмий 164,94	Er 68 Ербий 167,2	Tu 69 Тулий 169,4	Yb 70 Итербий 173,04	Lu 71 Лютеций 174,99

** 93—100 Трансуранови елементи								
	Np 93 Нептуний (237)	Pu 94 Плутоний (239)	Am 95 Америций (241)	Cm 96 Кюрий (242)	Bk 97 Берклий (243)	Cf 98 Калифорний (244)	An 99 Афиний (248)	Ct 100 Центурий (248)

Атомно оръжие и противоатомна защита, стр. 182 — 183

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

24. Курсанов А. Л., *Использование в СССР радиоактивных изотопов в биологии и сельском хозяйстве.* Доклады, представленные СССР на Международную конференцию по мирному использованию атомной энергии, 1955 г.
25. Курсанов А. Л. акад., *Радиоактивните атоми в служба на биологията и селското стопанство*, в. „Раб. дело", 14. 8. 1955 г.
26. *Към въпроса за защитата от водородната бомба*, сп. „Природа", БАН, кн. 4|1955 г.
27. Лееп Р., *Новая сила*, Москва, 1954 г.
28. Михайлов В. и Мкртычев М., *Атомная энергия на службе народного хозяйства*, в. „Красная звезда" № 82|7. 4. 1954 г.
29. Наджаков Г. акад., *Силата на атома за благото на човечеството*, в. „Отечествен фронт", 5. III. 1955 г.
30. Науменко И. А., *Атомная энергия и её использование*, Москва, 1955 г.
31. Несмеянов А. Н., *Радиоактивные изотопы*, 1955 г.
32. Несмеянов А. Н., *Вступительная реч на сессии Академии наук СССР, посвещенной мирному использованию атомной энергии*, Пленарное заседание, Москва, 1955 г.
33. Николов П. проф., и Николов Иван д-р, *Атомната енергия в служба на живота*, в. „Раб. дело", 12. 8. 1955 г.
34. Новгородов А., *Действия при атомен взрив*, сп. „За Родината", кн. 6/1955 г.
35. Олесов Б., *Атомното оръжие и противоатомната защита*, в. „Народна армия" бр. 1840, 1846, 1848|1954 г.
36. Покровский Г., *Някои въпроси по противоатомната защита*, сп. „Авиационно дело", кн. 1|1955 г.
37. Покровский Г. Н. проф., *Атомен самолет на бъдещето*, сп. „Наука и техника за младежта", кн. 10—11, 1955 г.
38. Пирински Г., *Борбата против подготовката на атомна война*, в. „От. фронт", бр. 3280/1955 г.
39. Ромадин В., *Електростанция с атомна енергия*, в. „Вечерни новини", 16 и 17. IX. 1954 г.
40. Ромадин В., *Атомната електроцентрала*, в. „От. фронт", 10. 3. 1955 г.
41. Седов А., *Действия на войниците при атомния взрив*, сп. „Наръчник на военния агитатор", № 7/1955 г.
42. Томов Р. ген.-майор, *Използуване защитните свойства на местността*, в. „Народна армия", бр. 2140/1955 г.
43. Трифонов Ан., *В атомната електростанция*, в. „Раб. дело", 11. 8. 1955 г.
44. Фатеева М. Н., *Опыт клинико-диагностического применения некоторых радиоактивных изотопов в СССР.* Доклады, представленные СССР на Международную конференцию по мирному использованию атомной энергии, 1955 г.
45. Френкел Я. Н., *Освобождение внутриатомной энергии*, Изд. АН СССР, 1946 г.
46. Фридлендер Г. и Кеннеди Д., *Введение в радиохимию*, 1952 г.
47. Фурсов В. С., *Работы Академии наук СССР о уран-графитовым реакторам*, Сессия АН СССР по мирному использованию атомной энергии 1—5 июля 1955 г., пленарное заседание, стр. 15, Москва 1955 г.
48. Хенле В. проф. д-р, *Строеж и действие на водородната бомба*, сп. „Природа", БАН, кн. 4|1955 г.
49. Шпольский Е. В., *Атомная физика*, т. II, 1951 г.
50. *Экспериментальный ядреный реактор на обикновенной воде и обогащенном уране.* Доклады, представленные СССР на Международную конференцию по мирному использованию атомной энергии, 1955 г.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

ЛИТЕРАТУРА

1. Аглинцев К. К., *Основы дозиметрии, ионизирующих излучений*, МЕДГИЗ, 1954 г.
2. *Атомна енергия и атомно оръжие*, сборник статии и документи, съставил Ал. Гетман, изд. ДОСО, София, 1954 г.
3. *Атомното оръжие*, сборник статии, съставил Ал. Гетман, изд. ДВИ, Соф., 1956 г
4. Бачинский А. И., Путилов В. В., Суворов Н. П., *Справочник по физике*, Москва, 1951 г.
5. Бете Г., *Образование энергии в звездах.* Проблемы современной физики, вып. 1, 3 (1954).
6. Блохинцев Д. И. и Николаев Н. А., *Первая атомная электростанция СССР и пути развития атомной энергетики.* Доклады, представленные СССР на Международную конференцию по мирному использованию атомной энергии, Москва, 1955 г.
7. Блякет П. проф., *Атомната война*, София, 1949 г.
8. Василев Н., *Атомните оръжия и употребата им*, сп. „За Родината“, кн. 7/1955 г.
9. Венсан М., *Да бъде премахната заплахата от атомна война*, в. „Раб. дело“, бр. 30/1955 г.
10. Вишински А. Я., Реч пред ООН, 48 г. *„За намаляване на въоръженията и забрана на атомната бомба“.*
11. Гавриков Ф., *Средства и способы противоатомной защиты*, „Военные знания“, № 9/1954 г.
12. Глушко А., *Атомното оръжие и противоатомната защита*, в. „Народна армия“, бр. 1878, 1888/1954 г.
13. Дахнов В. Н., *Применение радиоактивных методов при разведке полезных ископаемых*, Сессия АН СССР по мирному использованию атомной энергии. 1—5. VII. 1955 г., стр. 228.
14. *Дело мира удержит победу*, сп. „Новое время“, № 11/1955 г.,
15. Емелин В., *„Противоатомное обеспечение войск“*, в. „Красная звезда“, 25. V. 1955 г.
16. Исаев Ф. ген.-майор, *Несостоятельность некоторых вашингтонских расчетов*, „Новое время“, № 10|1955 г.
17. Жуховицкий А. А., *Меченые атомы*, 1955 г.
18. Иванов Д. и Фоменко М., *Атомное оружие и противоатомная защита*, в. „Красная звезда“, бр. 304|1955 г.
19. Карапеев Х., *Използуване на местността за противоатомна защита на войските и бойната техника*, сп. „Армейски преглед“, кн. 5|1955 г.
20. Кашукеев Н. Т. и Борисов М., *Атомната енергия и нейното използуване*, сп. „Природа“ — БАН, кн. 1, 2 и 3|1955 г.
21. Кашукеев Н. Т., *Атомната енергия в служба на живота*, сп. „Природа и знание“, бр. 4, стр. 1|1955 г.
22. Кинов Иван ген.-полк., *За характера на бъдещата война*, сп. „Военна мисъл“, 1955 г.
23. Корсунский М. И., *Атомное ядро*, 1951 г.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

СЪДЪРЖАНИЕ

стр.

Предговор 3

ФИЗИЧЕСКИ ОСНОВИ НА АТОМНОТО ОРЪЖИЕ

1. Строеж на веществото. Атоми и молекули 7
2. Строеж на атома 8
3. Изотопи 11
4. Ядрени сили и ядрена енергия 12
5. Естествена радиоактивност 14
6. Измерване на радиоактивността и радиоактивните лъчения 18
7. Изкуствена радиоактивност 22
8. Неутрони 24
9. Верижно деление на урана 27
10. Термоядрени реакции 34

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА АТОМНОТО ОРЪЖИЕ

1. Видове атомно оръжие и способи за неговата употреба 41
2. Атомна бомба 46
3. Построяване на първите атомни бомби 48
4. Атомен взрив и неговите поразяващи фактори 51
5. Ударна вълна на атомния взрив 53
6. Светлинно излъчване на атомния взрив 61
7. Проникваща радиация на атомния взрив 63
8. Радиоактивно заразяване на местността при атомен взрив 65
9. Особености на надземния, подземния и подводния атомен взрив 67
10. Водородна бомба 71
11. Бойни радиоактивни вещества 75
12. Атомното оръжие и бъдещата война 76

ПРОТИВОАТОМНА ЗАЩИТА

1. Общи положения 87
   а) Използуване на атомното оръжие 87
   б) Основни мероприятия по противоатомната защита 89
   в) Средства за противоатомна защита 91
   г) Организиране на противоатомната защита 93
2. Особености на противоатомната защита във вътрешността на страната . 95
   а) Общи положения по организацията на противоатомната защита . 95

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

б) Действия на населението при обявяване на атомна опасност и през време на експлозията 98
3. Средства и способи за противоатомна защита на войските 100
а) Особености на поразяващото действие на атомното оръжие на бойното поле 100
б) Основи на противоатомната защита на войските 103
в) Устройване на отбранителните съоръжения и използуване защитните свойства на местността 105
г) Радиационно разузнаване 114
4. Ликвидиране на последствията от атомно нападение 117
а) Общи положения 117
б) Санитарна обработка 119
в) Дезактивизация 122
г) Ветеринарна обработка 133
д) Други мероприятия по ликвидиране на последствията от атомно нападение 134
5. Някои особености в действията на войските при употреба на атомно оръжие 137

АТОМНАТА ЕНЕРГИЯ ЗА МИРНИ ЦЕЛИ

1. Атомната енергия и нейното значение за човешкия прогрес 149
2. Видове източници на атомна енергия 150
3. Използуване на радиоизотопите за мирни цели 150
а) Радиоизотопите като източници на радиоактивно лъчение 151
б) Белязани атоми 155
4. Използуване енергията на ядрените горива за мирни цели 160
а) Ядрени реактори 160
б) Използуване на ядрените горива за добиване на електроенергия 163
в) Използуване на атомната енергия в транспорта 172
5. Заплахата от атомна война и борбата на народите за мир и забрана на атомното оръжие 175
Заключение 180
Приложение: Периодична система на елементите на Д. И. Менделеев 184

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Забелязани по-важни грешки

Стр.	Ред	Напечатано	Да се чете
33	във фиг. 23 лявото кръгче	U-235	U-238

Редактор: Караиванов Ас.
Техн. редактор: Костов Н. Коректор: Георгиева Т.

Дадена за печат на 16. V. 1956 год. Формат 8° от 65/92
Издателски коли 12 Кн. тяло 4·80 лв. Печатни коли 12
Изд. поръчка № 875 Подв. 1·80 лв. Техн. поръчка № 263

Печатница на Държавното военно издателство при МНО — София

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6

Цена 1955 год.
6·60 лв.

Sanitized Copy Approved for Release 2010/01/28 : CIA-RDP80T00246A034800720001-6